



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JONI HAAPANEN  
KENNORAKENTEISEN SÄHKÖKESKUKSEN TUOTTEISTAMINEN

Diplomityö

Tarkastajat: professori Matti Vilkkonen ja  
yliopistonlehtori Antti Pulkkinen

Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Teknisten tieteiden tiedekuntaneuvoston  
kokouksessa 3. kesäkuuta 2015

## TIIVISTELMÄ

**HAAPANEN, JONI:** Kennorakenteisen sähkökeskuksen tuotteistaminen

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 53 sivua

Kesäkuu 2015

Automaatiotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Prosessien hallinta

Tarkastajat: professori Matti Vilkkonen, yliopistolehtori Antti Pulkkinen

**Avainsanat:** tuotteistaminen, kehitysprojektien kuvaus

Tämä diplomityö on tehty kennorakenteisten sähkökeskusten suunnittelun kehitystyönä Tampereen Keskustekniikka Oy:lle.

Sähköjärjestelmien toimituksessa projektoinnin ja kilpailun tuomat haasteet vaativat suunnittelulta resursseja, joiden käyttöä tehostetaan ensisijaisesti suunnitteluprosessin ja suunnittelumenetelmien kehitystyöllä. Suunnittelun tehokkuus yhdistettynä tuotteen valmistusprosessiin vaikuttaa ennen kaikkea toimituksen läpimenoaikaan sekä samalla tuotteen ja palvelun laatuun, jotka edesauttavat asiakassuhteiden kehittymistä.

Tuotteistamalla halutaan tehostaa suunnitteluprosessin toteutusta ja nopeuttaa valmistusprosessin aloittamista. Työn tavoite oli selvittää voidaanko tarkkaan valikoitavien projektityöryhmien kokoonpanoja tuotteistaa ja hallita tuoterakenteita kehittyneillä suunnittelumenetelmillä. Lisäksi ovatko kokoonpanot sopivilta osin konfiguroitavissa valmiista alustoista tehokkailla menetelmillä ja voidaanko nämä kokonaisuudet tunnistaa projektihistoriasta.

Työn ensimmäinen tutkimuskysymys oli, voidaanko tuotteistuksen ja tuotetietojen hallinnan kehitysprosessi kuvata systemaattisena mallina eri toimenpiteitä, jotka ohjaavat vastaavien prosessien toteutuksessa? Toiseksi, miten konfiguroitavilla tuoterakenteilla voidaan mahdollisimman yksinkertaisella systeemillä tarjota laaja valikoima täysin asiakasräätälöityjä tuotteita ja minkä tyyppisille kohderyhmille ja osakokonaisuuksille systeemi voidaan toteuttaa?

Eri kohderyhmien tuotekehitysprojektit voidaan kuvata erityyppisinä prosessimalleina riippuen kohderyhmän vaatimuksista ja tuoteperheen ominaisuuksista. Konfiguroitavan tuoteryhmän tuotekehitysprojektia kuvataan parhaiten V-mallilla, jossa testaustoimenpiteet sisältävät katselmuksia ja arvioita suunnitelmien ja systeemin toimivuudesta. Tuloksena halutaan saada toimintavarma systeemi, jolla palvellaan sekä asiakkaan että toimitajan etuja.

Projektityönä suunniteltava keskustuote sisältää aina tapauskohtaista suunnittelua. Toistuvaa työtä on mahdollista vähentää modulaarisilla tuotteistetuilla suunnitelmilla. Toistuvan yksinkertaisen työn vähentäminen tuo tehokkuutta suunnitteluun ja projektin hallintaan, mutta vaatii toimiakseen hyvän suunnittelun kehitystyön ja tuoterakenteiden tunnistamisen.

## ABSTRACT

**HAAPANEN, JONI:** Productization of Motor Control Center

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 53 pages

June 2015

Master's Degree Programme in Automation Engineering

Major: Process Automation

Examiner: Professor Matti Vilkkö, University lecturer Antti Pulkkinen

**Keywords:** product development, visualizing development project

This master thesis was written as an electrical systems engineering development to Tampereen keskustekniikka Oy.

Challenges in electrical systems project business requires design resources. Their more efficient use is enhanced primarily by developing the designing process and effective designing methods. An efficiency of the designing combined with the manufacturing process affects above all to the lead-time of the delivery and also to the product quality and to the quality of service that contributes relationships development with clients.

The performance of the different stages on the design process can be improved by the product development and it speeds up starting the manufacturing process. The goal was to determine whether assemblies of the selectable product group can be standardized by product development and manage the product data by advanced designing methods. In addition, whether suitable portions of the product can be configured from product platforms by effective methods and whether these entities can be identified from the project history.

The first research question was whether the product development process can be described by the systematic model in the series of operations which controls the process in a similar processes implementation? Secondly, how configurable product structures enables by simple system to provide a wide range of fully customized products?

Different targets of development projects can be described in different types of process models, depending on the requirements of the target group and the properties of the product family. In a configurable product category product development projects are best described in a V-model, in which the test operations include reviews and evaluations of plans and functionalities of the system. In the result it is completed a reliable system that serves both customers and suppliers benefits.

Designing projects contains always ad-hoc designs. It is possible to reduce the modular-shelf plans, repetitive work. Reducing a repeated simple work improves the effectiveness of the designing and project management, but requires a good designing development and product structure identification.

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Tampereen Keskustekniikka Oy:n Jarmo Pulkista mahdollisuudesta tämän työn tekemiseen ja Juha-Pekka Lammia toimimisesta työn ohjaajana sekä tukihenkilönä kehitysprojektissa.

Haluan myös kiittää tarkastajia professori Matti Vilkkoa ja yliopistolehtori Antti Pulkista, joilta saamani ohjeistuksen ja neuvojen avulla olen päässyt kehittämään työtäni oikeaan suuntaan ja löytänyt monia hyviä ratkaisuja työhöni.

Kun tämä työ on vihdoin valmis, esitän erittäin suuret kiitokset kaikille minua viimeisen kuuden vuoden aikana tukeneille läheisille ihmisille.

Tampereella, 9.6.2015

Joni Haapanen

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Työn lähtökohdat ja tutkimuskysymys .....	1
1.2	Tutkimusprosessi.....	1
1.3	Työn rakenne.....	2
2.	SOVELLUSMENETELMÄT.....	3
2.1	Systeemien suunnittelu.....	3
2.2	Suunnitteluprosessin vaiheet .....	4
2.3	Tuotekehityksen prosessimallit .....	8
2.4	Tuotteistaminen .....	13
2.5	Tuotekehitys .....	14
3.	TOIMINNAN JA KEHITYSTARPEIDEN HAVAINNOINTI .....	20
3.1	Sähköjärjestelmien toimitusprosessi .....	20
3.2	Tietoa keskustuotteista .....	21
3.3	Yleistä tietoa keskustuotteiden toimituksesta ja suunnittelusta .....	23
3.4	Nykyisen toiminnan kuvaus .....	24
3.5	Tavoiteltavan toiminnan kuvaus .....	27
3.6	Nykyisen ja tavoiteltavan toiminnan ero.....	29
4.	KEHITYSTYÖ .....	32
4.1	Toiminnan kehitystarpeet.....	32
4.2	Tuotekehitystyö.....	36
4.3	Kehitysprojektin suunnittelu ja toteutus asiakaskohtaisessa toiminnassa....	45
4.4	Kehitystoimenpiteiden seuraukset.....	48
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	49
5.1	Kehitystyön peruste.....	49
5.2	Systeemien visuaalinen kuvaus .....	49
5.3	Tuotekehityksen tulokset.....	49
5.4	Systeemin ylläpito ja kehitys.....	50
5.5	Jatkokehitysehdotukset.....	50

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

ATO	Assemble-to-order, asiakasohjautuva asennus, tilausohjautuva koonpano
CTO	Configure-to-order, tilausohjautuva konfigurointi
ERP	Enterprise Resource Planning, yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä
ETO	Engineer-to-order, projektointi
MTO	Make-to-order, asiakasohjautuva valmistus, tilausohjautuva tuotanto
MTS	Make-to-stock, varasto-ohjautuva tuotanto
PDM	Product data management, tuotetiedon hallinta

# 1. JOHDANTO

Tässä työssä kehitetään prosessiteollisuuden sähkökeskusten suunnitteluprosessia tutkimalla tuotteistamisen vaikutusta tehostavana toimenpiteenä projektisuunnitteluun. Työssä tutustutaan kehitysprojektien suunnitteluun ja tuotteistuksen sekä tuotehallinnan prosessimalleihin. Työssä tutkitaan tuotekehityksen menetelmien soveltuvuutta projekti-keskusten suunnitteluun ja valmistukseen.

Tämä työ on tehty tutkimus- ja kehitystyönä Tampereen Keskustekniikka Oy:lle. Tampereen Keskustekniikka Oy on sähkö- ja automaatiojärjestelmätoimittaja, jonka päätoimiala on sähkökeskustuotteita valmistus. Yrityksen kokonaisvaltainen palvelu kattaa suunnittelun, kojeistojen valmistuksen, asennuksen, käyttöönoton ja elinkaaripalvelut.

## 1.1 Työn lähtökohdat ja tutkimuskysymys

Työn lähtökohtana on että halutaan kehittää suunnittelutyötä tehostava tietokantapohjainen järjestelmä, jonka tietorakenteet perustuvat valitun asiakassegmentin mahdollisiin konfiguraatioihin. Järjestelmä suunnitellaan yleisesti käytettäväksi projektisuunnittelussa. Sitä voidaan jatkossa soveltaa prosessisähkökeskusten suunnittelussa eri tuote- ja asiakasryhmissä.

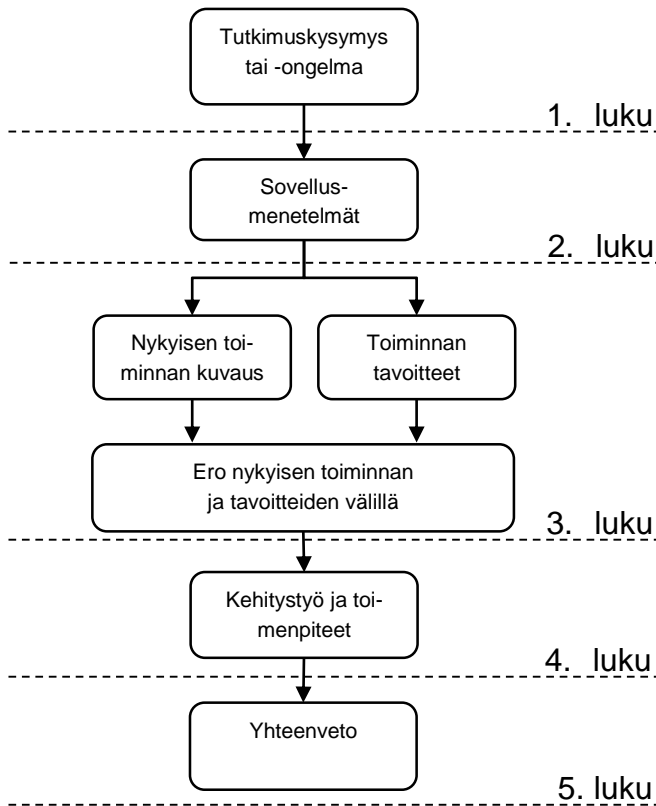
Keskeisin tutkimuskysymys on että voidaanko järjestelmän kehitysprosessi kuvata systemaattisena mallina, joka sisältää tarvittavat toimenpiteet systeemin kehityksen elinkaaren vaiheina? Työn edetessä kehittynyt tutkimuskysymys on selvittää soveltuuko konfiguroitava modulaarinen tuoterakenteiden hallinta projektiluontoiseen keskussuunnitteluun ja mitä etuja voidaan saavuttaa ja mitä haittoja on tuotteen konfiguroitavuudesta ja modulaarisuudesta?

## 1.2 Tutkimusprosessi

Työn tavoitteena oli selvittää voidaanko nykyisillä suunnittelun valmiuksilla kehittää suunnittelutoimintaa? Tuotekehitys toimii suunnittelutoiminnan kehityksen tukena. Tutkimusprosessin tiedonkeruuvaihe sisälsi lähdeaineiston hakemista ja perehtymistä. Tutkimusprosessin toinen vaihe oli nykyisen toiminnan ja kehitystarpeiden analysointi. Sidosryhmien tarpeita ja toiminnan tavoitteita selvitettiin haastatteluilla ja kehitystyöhön liittyvien seminaarien ja keskusteluiden pohjalta. Kehitystarpeiden perusteella tutkittiin tapoja soveltaa tuotekehityksen menetelmiä keskussuunnittelun ja toimitusprosessin kehitystyöhön.

### 1.3 Työn rakenne

Kuva 1 esittää kirjoitustyön rakennetta, jonka lähtökohtana on tutkimustyön tavoite.



**Kuva 1: Kirjoitustyön rakenne.**

Työn toisessa luvussa esitetään tiedonkeruuvaiheen tuloksia ja sovellusmenetelmiä liittyen työn aihealueeseen. Kolmannen luvun alussa esitellään valmistettava tuote, nykyinen toimintamalli, toiminnan tavoitteet sekä havaintojen perusteella nykyisen toiminnan ja tavoitteiden välinen ero. Neljännessä luvussa pohditaan mitä asioita on kehitettävä, jotta päästään tavoitteisiin. Lisäksi syvennytään tarkemmin kehitystyöhön ja tiedonkeruuvaiheen sovellusmenetelmiä sovelletaan projektikeskustuksen ja suunnittelutoiminnan kehitystyöhön. Viidennessä luvussa pohditaan lopputuloksia ja tutkimuksen perusteella niiden sopivuutta projektikeskustuksen tuotantoon sekä jatkokehitysmahdollisuuksia.



## 2. SOVELLUSMENETELMÄT

Tässä luvussa käsitellään systeemeihin, systeemien suunnitteluun, tuotekehitykseen ja tuotehallintaan liittyvää teoriaa. Lisäksi esitellään projektien visuaaliseen kuvaukseen soveltuvia prosessimalleja. Tuotekehitykseen liittyvä osuus sisältää tuoterakenteiden muodostamiseen ja hallintaan liittyvää teoriaa sekä tuotteistamisen perusteita.

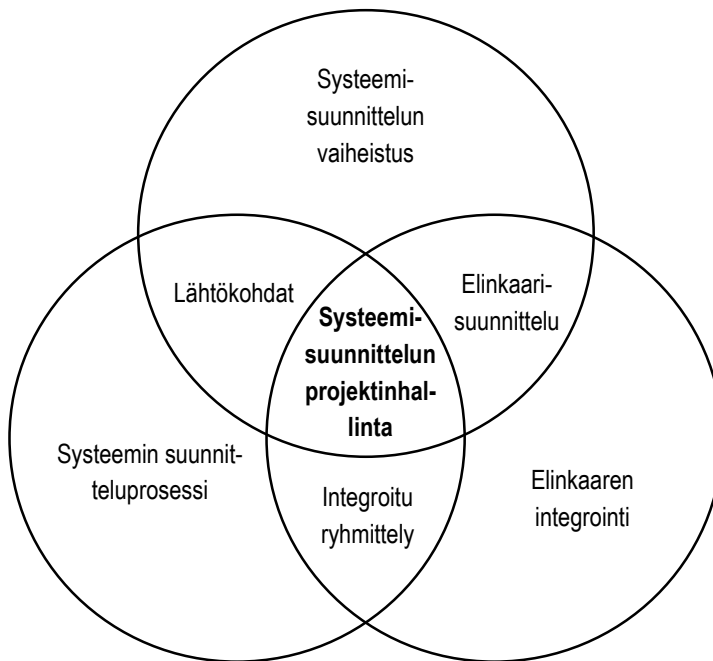
### 2.1 Systeemien suunnittelu

Systeemisuunnittelussa systeemeillä usein tarkoitetaan ihmisten, tuotteiden ja prosessien integroituja yhdistelmiä, joiden tehtävä on toteuttaa tietty toiminta. Bueden esittämä kuvaus systeemille on laitteistojen, ohjelmistojen, ihmisten, varustusten ja menetelmien koelma, joka on järjestäytynyt saavuttamaan tavoitteet, jotka sen sidosryhmät ovat sille määrittäneet [1]. Systeemin tavoitteet ovat tyypillisesti kustannuksiin, aikatauluihin ja suorituskykyyn liittyviä. [1][2]

Systeemin suunnittelu voidaan nähdä tekniseen tietämykseen perustuvana systeemin teknisenä suunnitteluna ja systeemisuunnittelun projektinhallintaan liittyvänä systeemitason suunnitteluna [2]. Kun suunnitellaan uusia monimutkaisia järjestelmiä, systeemien suunnittelu on luontainen osa projektinhallintaa [3]. Systeemitason suunnittelu ja analysointi nousee vahvasti esille kehittyvän teknologian, kilpailukyvyn parantamisen ja erikoistumisen kautta [3].

Useimmiten systeemin suunnitteluprosessin määrittelyyn löytyy kolme eri näkökohtaa [2]:

- looginen järjestys toimintoja ja valintoja.
- monitieteinen, joka kattaa koko teknisen työn, kehittyy ja verifioituu integroiduksi ja elinkaaripohjaiseksi joukoksi ihmisiä, tuotteita ja prosesseja, joilla tyydytetään systeemin vaatimukset.
- Poikkitieteellinen yhteistyöhön perustuva toimintatapa, joka pohjautuu, kehittyy ja verifioituu elinkaaritasapainotetuksi ratkaisuksi.



**Kuva 2: Kolme systeemien suunnittelun projektinhallinnan toimintoa [2].**

*Department of Defence* määrittää kolme tärkeää elementtiä, joista onnistunut systeemin suunnittelun projektinhallinta koostuu: [2]

- Kehityksen vaiheistus
- Systeemin suunnitteluprosessi
- Elinkaaren integrointi

## 2.2 Suunnitteluprosessin vaiheet

### 2.2.1 Sidosryhmien tarpeiden tunnistaminen

Systeemin suunnittelun ensimmäinen vaihe on käyttäjien ja sidosryhmien tarpeiden ja projektin rajoitusten tunnistaminen ja analysointi [1]. Myös jokainen systeemin suunnittelun vaihe alkaa sille annettujen vaatimusten yksityiskohtaisella analysoinnilla [3]. Vaatimukset kuvaavat suoraan systeemin suorituskyvyn ominaisarvoja, jotka muodostavat systeemin toiminnalliset tavoitteet.

Vaatimusten analysointi on erityisen tärkeää etenkin konseptin kehitysvaiheessa – sillä se usein kuvaa epätäydellistä tulkintaa käyttäjän todellisista tarpeista [3]. Usein systeemin suunnittelijan on tehtävä töitä sidosryhmien kanssa selvittääkseen riittävän hyvin niiden vaatimukset [1]. Tärkeitä sidosryhmiä on sekä asiakas että systeemin käyttäjä. [3]

Rajoituksia asettavat mm. ulkoiset rajapinnat, projektin tuki, teknologia tai elinkaaren tukijärjestelmät. [2]

Vaatimuksia ja rajoituksia voivat olla [1][2]:

- Asiakkaan asettamat vaatimukset, jonka kautta syntyy myös systeemin input/output-vaatimukset
- Teknologia- ja systeemin kokonaisuuden vaatimukset, jotka voivat myös asettaa rajoituksia
- Toiminnalliset ja suorituskyykyyn liittyvät vaatimukset
- Kaupalliset vaatimukset
- Systeemin laatuvaatimukset
- Suunnitteluun liittyvät vaatimukset
- Johdetut ja kohdistetut vaatimukset, jotka muodostuvat muiden vaatimusten perusteella

Sidosryhmien tarpeiden tunnistaminen voi joissain tapauksissa olla haastavaa. Usein tuotteen tekninen erittely on selkeä määritelmä tuotteen teknisistä vaatimuksista, mutta uuden tuotteen kehityksessä voi olla haastavaa määritellä vaatimuksia, joita käyttäjä ei välttämättä itsekkään tunnista. Hyvän analyysin perusteella on mahdollista luoda innovaatioita, jotka helpottavat tuotteen käyttöä tai luovat uusia mahdollisuuksia ilman että käyttäjä on aiemmin tunnistanut niiden tarvetta.

## 2.2.2 Elinkaarisuunnittelu ja kehityksen vaiheet

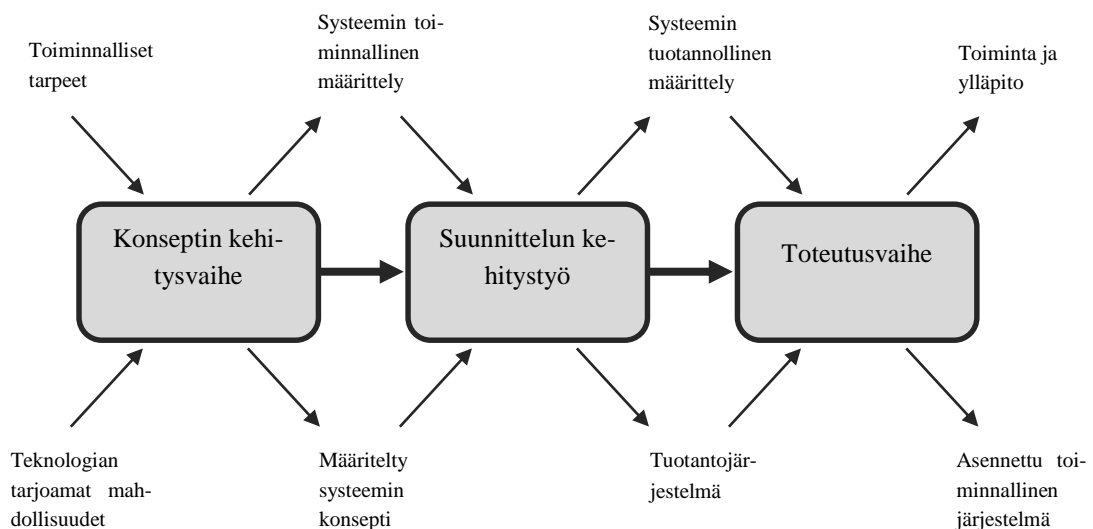
Alan kirjallisuudessa painotetaan kuinka tärkeä ominaisuus on systeemin elinkaaren huomioiminen suunnittelun kehitysvaiheessa [1]. On myös huomioitava vaatimukset, joita systeemi luo koko elinkaaren ajalle [2]. Systeemin elinkaari käsittää koko sen kehitysvaiheen ajatuksen synnystä itse systeemin suunnitteluun, valmistamiseen, käyttöön ja alas ajamiseen tai hävittämiseen saakka. Jokainen sen elinkaaren vaihe voi johtaa ei haluttuun tulokseen luoden epäonnistumisen riskin. [1]

Elinkaari sisältää tyypillisesti seuraavia elementtejä [2]:

- Kehitys
- Tuotanto
- Käyttöönotto
- Koulutus
- Toiminta
- Ylläpito
- Tarkastukset
- Hävittäminen

Systeemin suunnittelun kehitysprosessi voidaan kuvata sen omana elinkaarena. Prosessi alkaa tarpeen tunnistamisesta päättyen toimintaan saattamiseen ja toiminnan ylläpitoon. Systeemin kehitysprosessi tapahtuu tyypillisesti asteittain käsitetasolta systeemin suunnittelutasolle ja niin edelleen alajärjestelmiin ja komponenttitasolle. Kossiakoff *et al.* ku-

vaa kehitysprosessin elinkaaren kolmena selkeänä kehitysvaiheena. Ensimmäisessä analysoidaan käyttäjän vaatimuksia ja määritellään systeemin ylemmän tason vaatimukset (Kuva 3). Toisessa vaiheessa tehdään ylemmän tason vaatimuksiin perustuvan systeemin toteutussuunnitelman, jonka tuloksena syntyy aikataulu-, kustannus- ja toiminnalliset vaatimukset. Viimeinen vaihe sisältää systeemin toteutuksen, käyttöönoton, toiminnan ja ylläpidon. Jokainen näistä vaiheista voidaan vaiheistaa vastaavasti useampaan osaan. [2][3]



**Kuva 3: Systeemin suunnittelun elinkaaren päävaiheet [3].**

*Konseptitason kehitysvaihe* sisältää systeemin tarpeen analysoinnin, konseptin tutkimisen ja määrittelyn. Systeemin analysointi on usein jatkuva toimenpide ja tarve voi kehittyä olemassa olevan systeemin puutteita analysoimalla, kuten tarpeeseen parantaa toiminnan tehokkuutta. Konseptin tutkimisvaiheessa selvitetään potentiaalisia tapoja systeemin toteutukselle. Konseptin tutkimisen lopputuloksena saatu määrittely ei vielä suoraan tarkoita systeemin vaatimuksia, vaan vaatimusmäärittely voi jatkua seuraavissa konseptin kehitysvaiheen vaiheissa. Itse määrittelyvaiheessa tutkitaan mitä tuloksia systeemillä voidaan saavuttaa, arvioidaan mahdollisia kustannuksia ja analysoidaan riskit systeemin epäonnistumiselle. Lopputuloksena määrittely kertoo mitä systeemin tulisi tehdä ja kuinka hyvin sen tulisi suoriutua. Tässä vaiheessa päätetään myös myöhempien suunnittelun elinkaaren vaiheiden toteuttamisesta. [3]

*Suunnittelun kehitystyö* sisältää käsitteellisen suunnittelun jatkokehitystä, systeemin yksityiskohtaisen suunnittelutyön ja systeemin evaluoinnin. Vaihe sisältää systeimin tuotannollisen suunnittelun siten että se voidaan tuottaa taloudellisesti täyttäen sen toiminnalliset ja ylläpitoon liittyvät vaatimukset. Alkuvaiheessa tunnistetaan ja pyritään hallitsemaan suunnittelun mahdolliset riskit ja suunnittelulle annettu määrittely. Yksityiskohtainen suunnittelu sisältää luotettavuuteen, tuotehallintaa ja huollettavuuteen liittyvän suunnittelun. Evaluointivaihe sisältää myös systeimin integraation, jonka toiminta arvioidaan sen käyttöympäristöä vastaaviin olosuhteisiin. [3]

*Toteutusvaihe* sisältää systeemin tuotannon ja ylläpidon. Tuotantovaiheessa voi tulla esiin virheitä suunnittelussa, jolloin suunnitteluun voidaan joutua tekemään korjauksia. Ylläpito saattaa vaatia toimijalta koulutuksen tai erityisosaamisen systeemin ylläpitoon ja huoltotoimenpiteisiin. Monimutkaisimmat systeemit on luotu toimimaan vuosia, jolloin niihin voidaan tehdä päivityksiä tarpeen vaatiessa. Esimerkiksi tietokonepohjaisissa systeemeissä tulee usein vastaan jaksottaisia päivityksiä. Mitä monimutkaisempi systeemi on kyseessä sitä enemmän on suunnitteluvaiheessa sitouduttava systeemin ylläpitoon. [3]

### 2.2.3 Integrointi, verifiointi ja validointi

Integrointi, verifiointi ja validointi ovat tärkeitä vaiheita, kun systeemistä muodostetaan yhtenäinen toimiva kokonaisuus, joka tyydyttää käyttäjän vaatimukset. Mitä tärkeämpi osa kokonaisuutta systeemi on, sitä enemmän systeemin testauksen, arvioinnin ja integraation merkitys korostuu.

Systeemin *integroinnissa* osasysteemeihin pilkottu kokonaisuus kasataan yhteen muodostaen kommunikaatio osajärjestelmien ja komponenttien rajapintojen välille. Integraatio toteutetaan jokaiselle systeemin tasolle. [4]

*Verifioinnilla* osoitetaan systeemin toimivuus. Verifiointiprosessissa suoritetaan alemman tason rakenne- ja ohjelmistokokonaisuuksien testaus johtaen verifiointia kohti ylempiä tasoja muodostaen kustannus-, aikataulu- ja suorituskäyvävaatimusten arvion suhteessa vaatimuksiin ja riskianalyysiin. Verifiointimetodien täytyy olla vakiinnutettu ja kirjattu vaatimusmäärittelyä ja toimintojen jakoa tehtäessä. Verifiointisuunnitelma perustuu suoraan kunkin toiminnon vaatimusmäärittelyyn. [2][4]

Yleisimmin mainitaan neljä eri verifiointitapaa: [2][4]

- Testaus
- Analyysi
- Tarkastus
- Demonstrointi

*Testaus* on ensisijainen systeemin toimintojen verifiointitapa. Testauksessa verifioitavat suorituskäyvyn ominaisarvot todetaan suoraan mittaamalla. *Analyysissä* hyödynnetään matemaattisia, loogisia ja graafisia menetelmiä lasketun tai mitatun datan arvioinnissa. *Analysoinnissa* voidaan hyödyntää sekä mallinnusta että simulointia. *Tarkastus* sisältää systeemin ulkoisen katselmuksen, jossa puututaan selkeästi havaittaviin virheisiin – esimerkiksi systeemin toimintatavoissa tai fyysisissä ominaisuuksissa. *Demonstroinnilla* pyritään osoittamaan systeemin suorituskäyvyn tehokkuus sen toimintaympäristössä ilman tarvetta mittaustietoihin. [2][4]

*Validoinnilla* osoitetaan asiakkaan tai käyttäjän tyytyväisyys systeemiin ja todetaan vaatimusten täyttyminen. Validointi tehdään projektin lopussa, kun käyttäjä on saanut systeemin käyttöönsä. Tuloksena saadaan määrittely käyttäjän tyytyväisyyden asteesta. Validointi tulisi suorittaa jokaisella systeemin tasolla ja ylimmällä tasolla systeemin loppukäyttäjän kohdalla voidaan päätellä tyytyväisyys koko systeemiin. [4]

Systeemin kehityksen elinkaaren ja arkkitehtuurin suunnitteluvaiheessa tulisi konsultoida loppukäyttäjää hänen tyytyväisyydestä luotuun suunnitelmaan ja suunnittelun alkuvaiheessa tulisi määrittellä tarkasti käyttäjän vaatimukset, jotta hyvän validointisuunnitelman tekeminen olisi ylipäättään mahdollista [4].

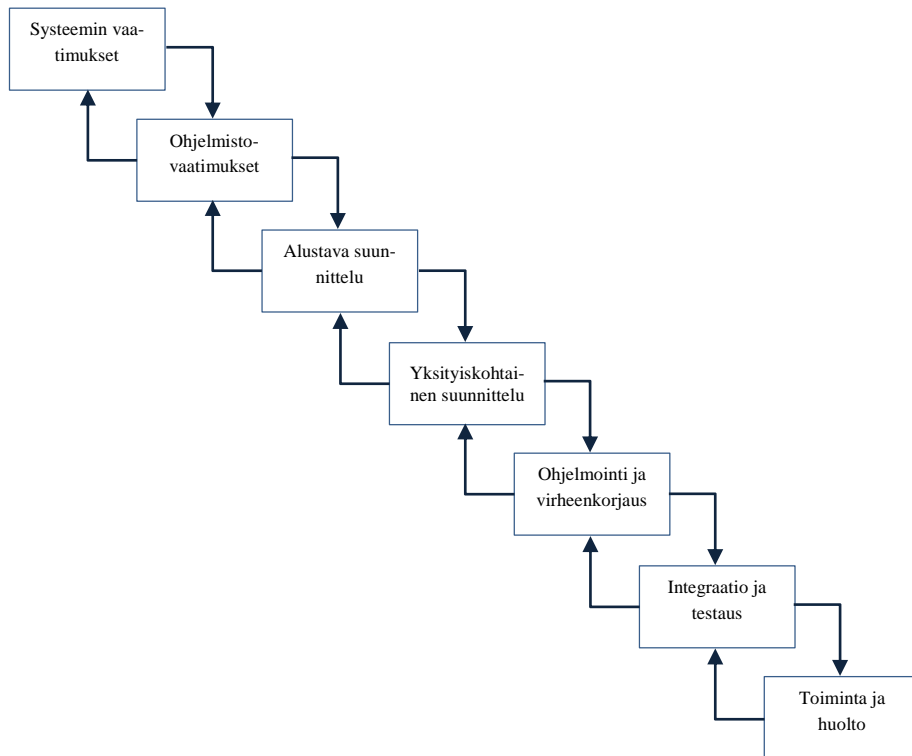
## **2.3 Tuotekehityksen prosessimallit**

Systeemeille pyritään yleensä luomaan visuaalinen kuvaus, joka sisältää sen toiminnot ja niiden sisäänmenot ja ulostulot. Täsmällinen visuaalinen kuvaus helpottaa päätöksentekoa monimutkaisten kokonaisuuksien hallinnassa, jossa projekti tulisi ajatella laajana kokonaisuutena. Laaja kokonaisuus kattaa kriittisen ajattelun, ratkaisut, ajattelun pidemmällä tähtäimellä ja ajattelun korkeammalla tasolla. [4]

Kokonaiskuvan hallinta on elintärkeä systeemin tai projektin onnistumisen kannalta. Prosessimalli määrittelee systeemin erittelyn pienempiin toiminnallisiin kokonaisuuksiin. [1] [4]

### **2.3.1 Vesiputousmalli**

Vesiputousmalli on ohjelmistotuotannon prosessia kuvaava prosessimalli. Vesiputousmalli esittää prosessin elinkaaren erillisinä, peräkkäisinä, lineaarisina vaiheina, joiden suuntaus on ylhäältä kohti alempia tasoja. Prosessi etenee ylimmältä tasolta käsiteltävästä koko systeemin vaatimusmäärittelystä kohti alempia tasoja luoden aina seuraavan vaiheen vaatimusmäärittelyn. Malli sisältää iteraatiokierroksen kahden peräkkäisen vaiheen välillä, eikä seuraavaa vaihetta tulisi toteuttaa ennen kuin edellinen täyttää sille annetut vaatimukset. [1][4]



**Kuva 4:** Forsbergin ja Moozen [4] esittämä Roycen (1965) ohjelmistotuotannon vesiputousmalli.

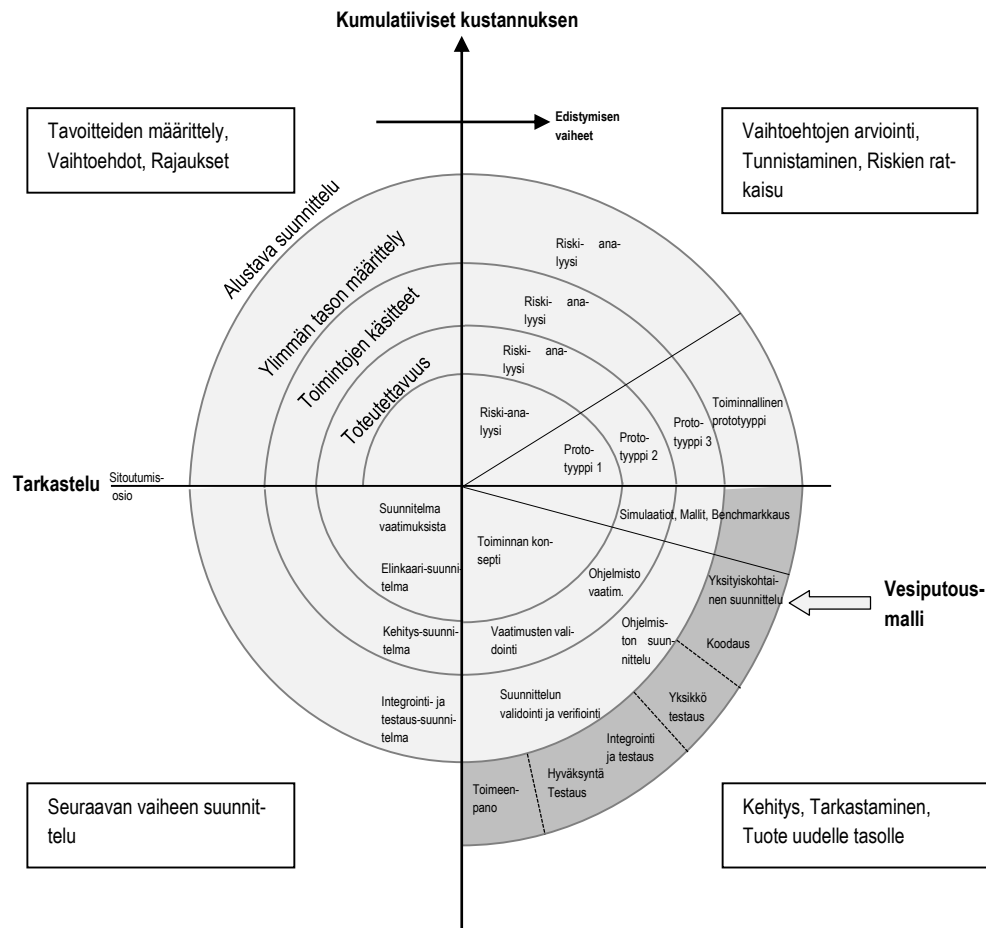
Sovellettaessa alkuperäistä ohjelmistotuotannon vesiputousmallia muun tyyppiseen kehitys- tai tuotantoprosessiin muodostuu ongelmaksi, se ettei malli huomioi iteraatioiden tarvetta etäisempiin vaiheisiin. Tämän vuoksi malli ei sovellu komplekseihin systeemeihin, jotka sisältävät korkeita riskitekijöitä, vaan esittää systeemin ongelmattomana prosessina epärealistisilla kustannus- ja aikatauluarvioilla. [1][4]

Vesiputousmallin dokumentointiin perustuva toimintatapa on selkeä ja helposti ymmärrettävä. Vaatimusmäärittely tulisi olla loppuun suoritettu ja dokumentoitu ennen toimeenpanoa tai seuraavan vaiheen suoritusta. Tämä edellyttää että projekti etenee ennalta sovitulla tavalla ja alun määritykset pätevät loppuun asti. Reaalimaailmassa suunnitteluprojekti harvoin etenee ilman muutoksia ja tarkennuksia alkuvaiheessa tehtyihin määrityksiin. Myös lähtötiedot tulisi olla selkeästi määriteltä eikä malli huomioi tuotantovaiheessa esiin tuleviin suunnitteluvirheisiin liittyviä toimenpiteitä. Jotta vaiheen toimenpiteessä luodaan virheetön lopputulos ja vaatimukset huomioidaan alussa huolellisesti, Forsbergin *et al.* mukaan tulisi ohjelmistosuunnittelun alkutiedot nollata ennen vaiheen suoritusta [4]. Vastaava menettely harvemmin noudattaa yritysten toimintatapoja. [1][4][5]

### 2.3.2 Spiraalimalli

Spiraalimalli on vesiputousmallin puutteita täydentäväksi suunniteltu riskiohjattu malli. Spiraalimallin ensisijainen tavoite on nopeuttaa vesiputousmallin kaltaisen ohjelmisto-

tuotannon alkuun saattamista. Malli painottaa riskianalysointia ja tärkeimpien vaatimusten tunnistamista aikaisessa vaiheessa, jotta aikatauluun, kustannuksiin ja toimintaan liittyvät ongelmat voidaan minimoida. Prototyyppejen tarkoitus on tarjota esikatselmuksia systeemistä, jotta sidosryhmät voivat täydentää vaatimuksia aikaisessa vaiheessa prosessia. Iteraatiokierrosten lukumäärä on määriteltävissä systeemin tarpeiden mukaan. Viimeisen iteraatiokierroksen tavoite on koota sidosryhmien vaatimukset testatuksi toimintavalmiiksi tuotteeksi. [1][4]



**Kuva 5: Spiraalimalli [4].**

Mallissa on jokaisen iteraatiokierroksen aikana neljä merkittävää vaihetta [1][5]:

1. Systeemin tavoitteiden, vaihtoehtojen ja rajoitusten määrittely
2. Vaihtoehtojen ja riskien arviointi
3. Kehitysvaihe ja täytäntöönpano
4. Seuraavan iteraatiokierroksen tavoitteiden suunnittelu yhdessä sidosryhmien kanssa

Jokainen kierros alkaa tavoitteiden, vaihtoehtojen ja rajoitteiden tunnistamisella ja määrittelyllä. Edellisen iteraation viimeisessä vaiheessa luodut vaatimusmäärittelyt nähdään



uuden kierroksen ensimmäisessä vaiheessa tavoitteina. Kierroksen toisessa vaiheessa arvioidaan vaihtoehdot suhteessa tavoitteisiin ja rajoituksiin ja analysoidaan riskit. Riskien haltuunoton ja vakaasti toimivan prototyypin perusteella suoritetaan kolmannessa vaiheessa täytäntöönpano. [1][6]

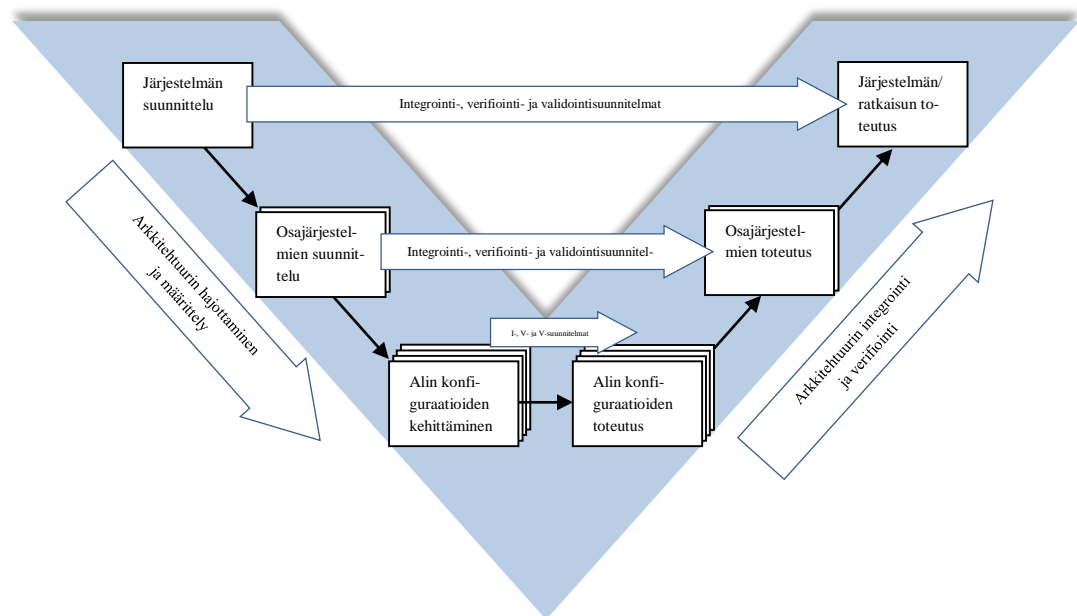
Prosessin kustannuksien kumulatiivinen kehitys voidaan päätellä radiaalisesti pisteen etäisyydestä spiraalin keskipisteeseen. Iteraation vaiheen etenemistä mitataan pisteen ja iteraation alun välisellä kulmalla spiraalin keskipisteessä. [5]

Vaikka mallilla saavutetaan riskitoimenpiteiden haltuunotto aikaisessa vaiheessa, voi mallin esitystapa aiheuttaa sekaannusta. Malli käsittää riskien hallinnan omana iteraatiokierroksen vaiheena sen sijaan että se olisi jatkuva toimenpide myös kehitysvaiheen aikana. Mikäli riskienhallinta on suoritettu täydellisesti ja on luotu vakaasti toimiva prototyyppi, prosessin kehitysvaihe kuvautuu riskittömänä täysin vesiputousmallia vastaavana prosessina (Kuva 5). [4][6]

Spiraalimalli sopii hyvin kriittisille prosesseille, joissa vaaditaan erityisen paljon riskianalyyseja. Etuja saavutetaan myös, kun ohjelmointi tai valmistus tulisi aloittaa jo aikaisessa vaiheessa prosessia. Usean iteraatiokierroksen suorittaminen nostaa projektin kustannuksia ja pidentää projektin elinkaarta. Tämän vuoksi pienille projekteille spiraalimallin käyttö ei ole kovin kannattavaa. Riskien hallinnan merkitys projektin onnistumisen kannalta korostuu, joka asettaa vaatimuksia riskienhallinnan erityisosaamiselle. Spiraalimalli, jossa jokainen iteraatiokierros sisältää prototyypin valmistuksen ja testauksen, soveltuu paremmin ohjelmistojen kuin fyysisten laitteistojen tuotantoon. [5]

### **2.3.3 V-malli**

Kehittyneempi kuvaus vesiputousmallin toimintatavasta hajottaa systeemi alemmille tasoille on V-malli. Myös V-malli sisältää järjestyksessä suoritettavia vaiheita, joita ei tulisi aloittaa ennen kuin edellinen on suoritettu.



**Kuva 6: V-mallin hierarkia [4].**

V-malli on testaukseen pohjautuva prosessimalli [5]. V-mallin vasemmassa puolella systeemi pilkotaan alemmille tasoille, joiden ohessa jokaisella vaiheella luodaan oma verifiointisuunnitelma. Mallin oikea puoli kuvaa verifiointisuunnitelmien toteutusta asteittain kohti ylempiä tasoja. V-mallissa aikajana kulkee perinteisesti vasemmalta oikealle eikä edelliseen vaiheeseen ole paluuta ajassa taaksepäin.

Käytännössä oikea puolikas kuvaa suunnitteluprosessin kehityksen elinkaarta ja hierarkiaa. Mallin vaiheet voidaan rajata pystysuunnassa kolmessa eri elinkaaren vaiheessa tapahtuviin toimintoihin, jotka esitetään suunnittelun elinkaaren vaihteistuksena (Kuva 3).

Järjestelmä voidaan pilkkoa alemmille tasoille niin moneen osaan kuin on tarvetta. Esimerkiksi Forsbergin ja Moozen mukaan [4] The INCOSE Handbook esittää systeemin seitsemän tasoa seuraavasti:

1. Systemi
2. Segmentti
3. Elementti
4. Osasysteemi
5. Kokoonpano
6. Osakokoonpano
7. Osa/kappale

Kirjallisuus esittelee V-mallin seuraavasti; vasemmalla ylhäällä esitetään sidosryhmien ja käyttäjien vaatimukset. Seuraava vaihe on arkkitehtuurin suunnittelu ja systeemin hajottaminen, jossa alemmille tasoille asetetaan määrittelyt. Ennen alinta tasoa on toteutuksen suunnittelu ja alimpana toteutus. V:n oikea puoli on systeemin vaiheiden validointia ja verifiointia ennalta tehtyjen suunnitelmien mukaisesti. [1]

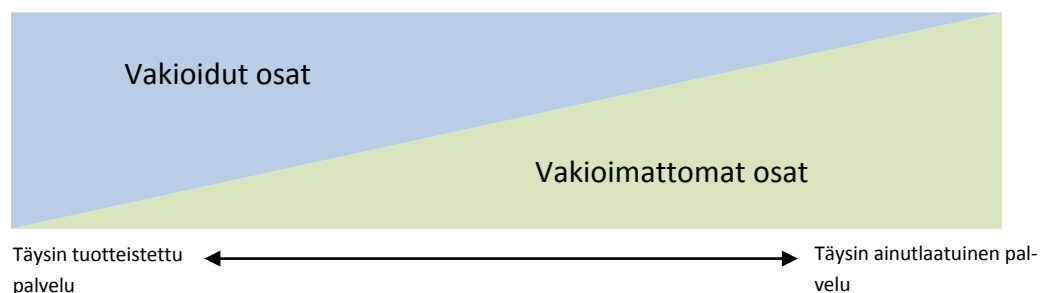
V-mallissa jokaisella vaiheella on erityinen selkeä tulos ja tavoite. Malli toimii hyvin pienissä projekteissa, joissa tunnistetaan selkeästi tavoitteet. Vaatimusmäärittelyyn tulevat muutokset ovat mahdollisia toteuttaa jokaisessa vaiheessa kesken prosessin. V-mallin heikkous on se jäykkyys ja joustavuuden puute. Systeemin kehityksen loppuvaiheessa tulevat muutokset vaikuttavat myös verifiointisuunnitelmiin, joihin joudutaan myös tekemään muutoksia. Pienimmissä projekteissa jokaiselle vaiheelle erikseen tehtävä verifiointi voi olla tarpeetonta ja aikaa vievää. [5][7]

## 2.4 Tuotteistaminen

Tuotteistamiselle ei ole yhtä oikeaa määritelmää, mutta yleensä tuotteistamisen tavoite on paketoita palvelu tai tuote siten että asiakas voi ennalta tietää sen sisällön. Näin helpotetaan tuotteen valintaa tarjonnasta. Lisäksi tuotteistamalla pyritään tehostamaan tuotteiden valmistusprosessia. [8][9]

Palvelujen tuotteistamisen tarkoitus on systematisoida toimintaa ja vakioida palveluita ikään kuin tuotteiksi. Tuotteistaminen sisältää määritelmiä, kuvauksia, parannuksia, tuotantoa ja jatkuvaa kehitystä siten että asiakkaan edut maksimoidaan ja saavutetaan myös yrityksen tavoitteet. Tuotteistamalla voidaan helpottaa yrityksen sisäistä kommunikointia esimerkiksi tuotteen markkinoinnin ja suunnittelun välillä. Tuotteistamalla voidaan pienentää riskiä palvelun tai tuotteen hinnoittelussa, kun sen sisältö tunnetaan ennalta. [8][9]

Tuotteiden kohdalla tuotteistamisella usein tarkoitetaan kokoonpanojen vakioimista tapauskohtaisen tuotteen räätälöinnin sijaan. Vakiointi luo tehokkuutta toimintaan, mutta räätälöinnillä voidaan tarjota osittain laadukkaampaa palvelua asiakkaalle. Tuotteen tai palvelun vakioitujen osien suhde räätälöityihin osiin määrittellään tuotteistamisen asteena (Kuva 7). Tuotteistamisen aste määritellään tapauskohtaisesti kunkin tuotteistamisprojektin osalta. Määrittelyyn vaikuttaa usein tarjottavan palvelu ja yrityksen liiketoimintastrategia. [10]



**Kuva 7: Tuotteistamisen asteet. [10]**

Tuotteistusprojektin toimintatapojen ja menetelmien vakioinnilla voidaan palvelun tuotteistus siirtää sujuvasti palvelusta toiseen. Tuotteistusprosessia kuvataan mallilla, jossa sovelletaan ennalta suunniteltuja toimintoja ja menetelmiä. Toimintamenetelmän luominen vaatii usein systemaattista suunnittelua, jonka tuloksena saadaan tuotteistusprosessin kuvaus. Mallia ei välttämättä tarvitse kokonaan kehittää itse, vaan siihen voidaan soveltaa ulkopuolelta löytyviä ratkaisuja. Vaikka toimintatavan dokumentointi ja käyttöönotto voi olla työlästä, niin edut voidaan saavuttaa pitkällä aikavälillä mallia sovellettaessa uusiin kohteisiin. Kun palvelun toteutus suoritetaan ennalta määritellyllä tavalla, sen laadun vaihtelut vähenevät ja palvelutavat yhtenäistyvät eri palveluiden välillä. [10]

## **2.5 Tuotekehitys**

### **2.5.1 Massaräätälöinti**

Massaräätälöinti on vastakohta massatuotannolle. Massaräätälöinnin tavoite on kehittää ja tuottaa kustannustehokkaasti laaja valikoima tuotteita asiakkaan tarpeisiin. [11][12]

Massaräätälöinnin tuotantomalleissa pyritään suorittamaan prosessin vaiheet joustavasti, kiinnittämällä huomiota läpimenoaikoihin, tiedonsiirtoon ja komponenttihankintoihin perustuen niiden varastointikustannuksiin. [11][12]

Räätälöinnin menetelmiä voivat olla: [11]

- Vakiotuotteen lisänä tarjottavat palvelut
- Kehittämällä tuotteeseen räätälöintiominaisuuksia, joita asiakas voi itse käyttää
- Räätälöinti toimitushetkellä
- Koko toimitusketjun reagointi asiakkaan tarpeeseen
- Komponenttien modulointi

### **2.5.2 Konfiguroitavuus**

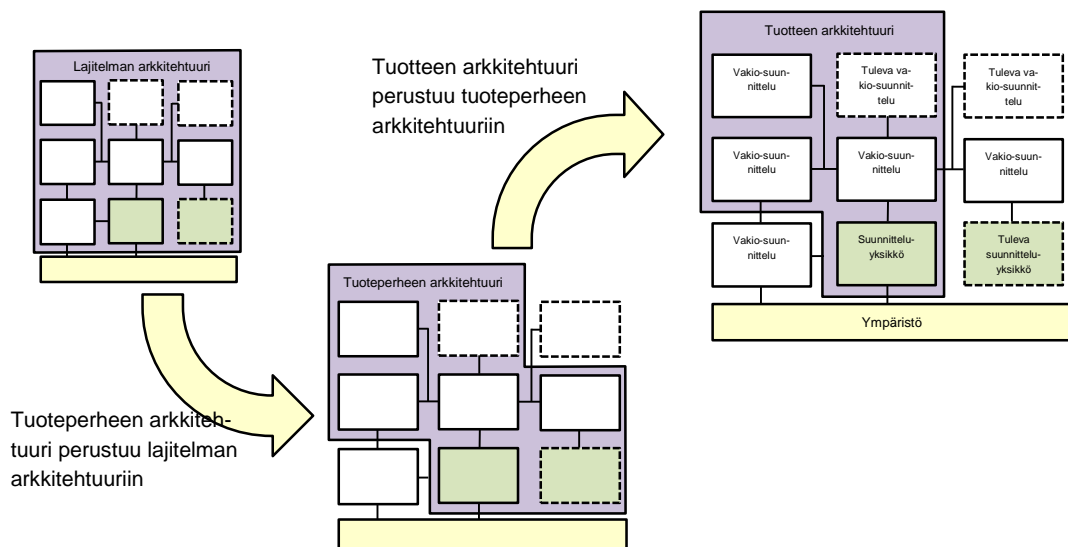
Konfiguroitavuudella tarkoitetaan tuotteen ominaisuuksien räätälöinnin mahdollisuuksia asiakkaan tarpeiden mukaiseksi. Projektituote on täysin ainutlaatuinen yksilöllinen tuote, kun taas konfiguroitavassa tuotteessa hyödynnetään vakioituneen tuotteen ominaisuuksia asiakasräätälöidyn tuotteen suunnittelussa ja valmistuksessa. Usein tuotteen suunnittelun työkaluna toimii konfiguraattori, jonka valintojen avulla muodostetaan tarvittavat ominaisuudet sisältävä tuote. [13]

### 2.5.3 Modulointi

Tuote tai palvelu voi perustua moduuleihin, joilla tarjotaan variaatioiden mahdollisuus pohjautuen vakioituihin osiin tai osasysteemeihin. Moduloinnin tavoite on selkeyttää monimutkaisen kokonaisuuden hallintaa pilkkomalla se pienemmiksi osiksi sekä luoda palveluun joustavuutta, joka toimii samalla nopeasti ja kustannustehokkaasti. [8][10]

Tuotteen arkkitehtuurilla kuvataan tuotteen fyysisiä osakokonaisuuksia ja niiden rajapintoja sekä myös niiden toiminnallisuksia ja toimintojen vaikutusta toisiinsa. Modulaarisella arkkitehtuurilla kuvataan moduuleiden kytkeytymistä toisiinsa. Rakenne voi sisältää joko vakioduuleita tai räätälöityä suunnittelua. Modulaarinen tuote sisältää yhden tai useamman vakiokomponenteista kootun moduulin, jonka ympärille tuotteen kustomoituus rakennetaan. Vaihtoehtoisesti tuote voi olla moduloitu siten että moduulit ovat joko vakio- tai kustomoituja moduuleita. [8][10][14][15]

Harlou on kuvannut tuotteen arkkitehtuurin siten että se sisältää joko vakiosuunnitteluja (Standard design) tai tapauskohtaisia suunnitteluyksiköitä (Design unit) [9]. Vakiosuunnitteluosuus ei kuitenkaan tarkoita suoranaisesti moduulia, vaan voi käsittää osittain moduulille tyypillisiä ominaisuuksia. Harlou mukailee Mortensenin ja Andreasenin domain-teoriaa siten että suunnitteluyksiköt (Design unit) voivat perustua joko toimintoihin, elimiin, osakokoonpanoihin tai niiden yhdistelmiin. [14]

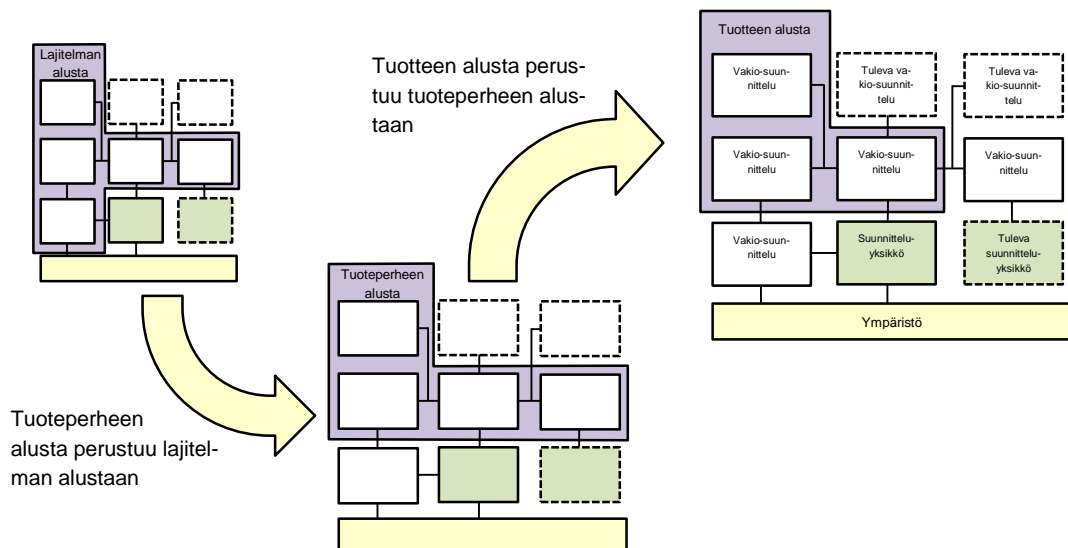


**Kuva 8: Harloun kuvaus tuoteperheeseen pohjautuvan tuotteen arkkitehtuurista [3].**

Tuote voi pohjautua alustaan, joka on pelkästään vakioituista yleisesti käytetyistä osista sekä niiden rajapinnoista muodostettu pohja tuotteelle. Alustan päälle voidaan rakentaa kustomoitu tuote lisäämällä siihen ominaisuuksia ja toimintoja. Tuoteperheet voivat usein pohjautua samaan alustaan, jolloin tuodaan markkinoille useita saman alustan päälle ra-

kennettuja tuotemalleja, joissa kaikissa esiintyy osittain samoja komponentteja ja osakoonpanoja. Samojen vakiomoduuleiden käyttöä useammassa eri tuotteessa voidaan perustella seuraavilla hyödyillä: [8][14]

- Uudistukset voidaan ottaa nopeasi käyttöön eri tuotteissa
- Vähemmän variaatioita kokoonpanoissa
- Vähemmän hankittavia osatyyppejä
- Tasaisempi laatu
- Suunniteltavien osakokoonpanojen määrä vähenee

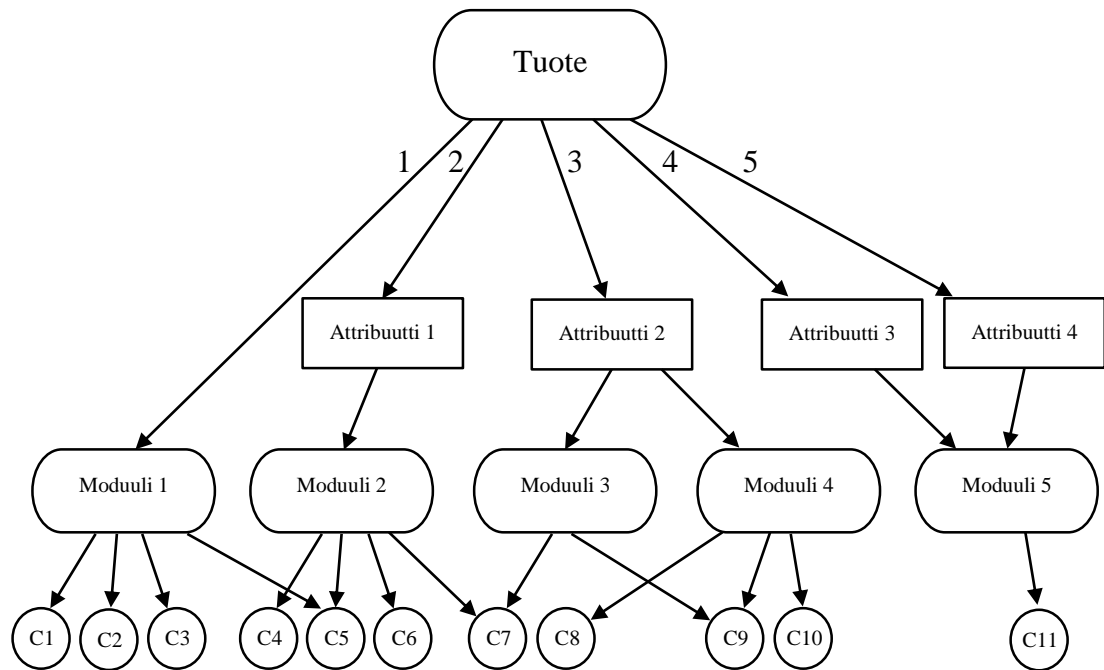


**Kuva 9: Harloun kuvaus alustaan pohjautuvan tuotteen arkkitehtuurista [14].**

Systeemin moduloinnin tavoitteena on kompleksisuuden vähentäminen, joka selkeyttää kokonais kuvaa ja näin ollen myös helpottaa kokonaisuuden hallintaa. Modulaarinen rakenne soveltuu huonommin tapauksiin, joissa modulointi vaikuttaa esimerkiksi tuotteen suorituskykyyn enemmän kuin on haluttu. Tuotteen modulaarinen rakenne saattaa kasvattaa sen fyysisiä mittoja, jolloin suorituskyky ja käytännöllisyys eivät ole samalla tasolla kuin tuotteessa, johon on integroitavissa tarvittavat ominaisuudet. [15]

## 2.5.4 Attribuutit ja tietorakenteet

Kun tuotteiden rakenteet sisältävät samankaltaisia komponentteja, ominaisuuksia ja rakenteita, voidaan hyödyntää *attribuutteja* moduulirakenteista tuotetta muodostettaessa. Modulaarista konfigurointia suoritettaessa lopputuloksena saatava tuote määritellään attribuuttien arvoilla. Jotta konfigurointi voidaan suorittaa tietomallin perusteella, on tuotteen toiminnot voitava ilmaista attribuuttien arvoilla. Konfiguraatio on myös pystyttävä esittämään tietorakenteena, josta selviää attribuuttien, moduulien ja komponenttien kytkeytyminen toisiinsa (Kuva 10). [13]



**Kuva 10: Moduulien erittely suorasti tai epäsuorasti toimintojen perusteella. [13]**

Valittavissa oleva moduuli tai komponentti voi olla sijoitettavissa yhden tai useamman attribuutin perusteella. Kuva 10 esittää eri mahdollisuuksia tietorakenteen mukaisista toimintoista eri attribuuttien valinnoilla 1-5. [13]

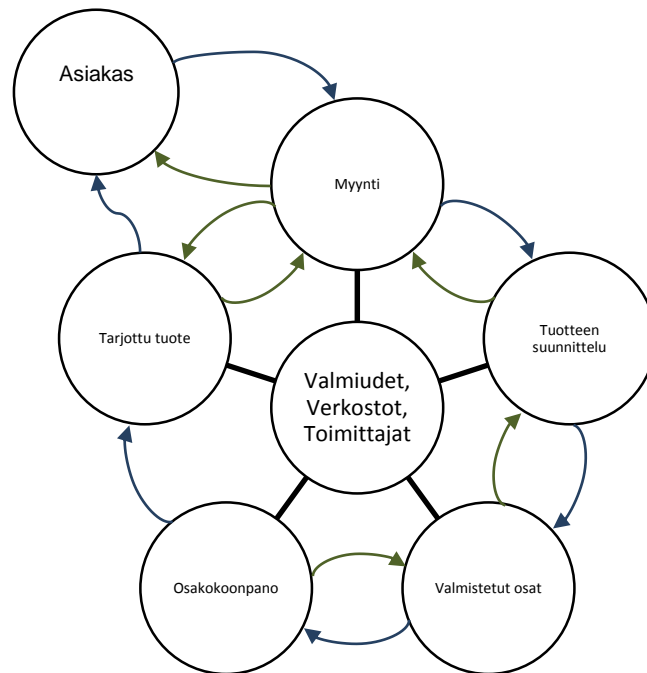
- Valinta 1 toteutuu, kun mitään attribuuttia ei ole asetettu.
- Valinta 2 kuvaa moduulin 2 sisällyttämistä tuotteeseen ja attribuutti 1 on ainoa, jolla tämä valinta voidaan suorittaa.
- Valinnalla 3 valitaan sekä moduulit 3 että 4, jotka voivat olla riippuvaisia toisistaan, jolloin on järkevää suorittaa molempien valinta samalla attribuutilla.
- Moduulin 5 valinta tuotteeseen edellyttää sekä valintaa 4 että 5, jotta moduulin sisällyttäminen tuotteeseen on mahdollista.

### 2.5.5 Tuotteen toimitusketjut

Tuoterakenne, tuotteen valmistusmenetelmät ja yleiset kustannuksista tai menetelmistä johtuvat toimintatavat vaikuttavat tuotteen toimitusketjuun. Toimitusketjulle tyypillisiä toimintatapoja on esimerkiksi:

- Projektointi (Engineer-to-order)
- Tilausohjautuva tuotanto (Asiakasohjautuva valmistus) (Make-to-order)
- Tilausohjautuva kokoonpano (Asiakasohjautuva asennus) (Assemble-to-order)
- Varasto-ohjautuva tuotanto (Make-to-stock)

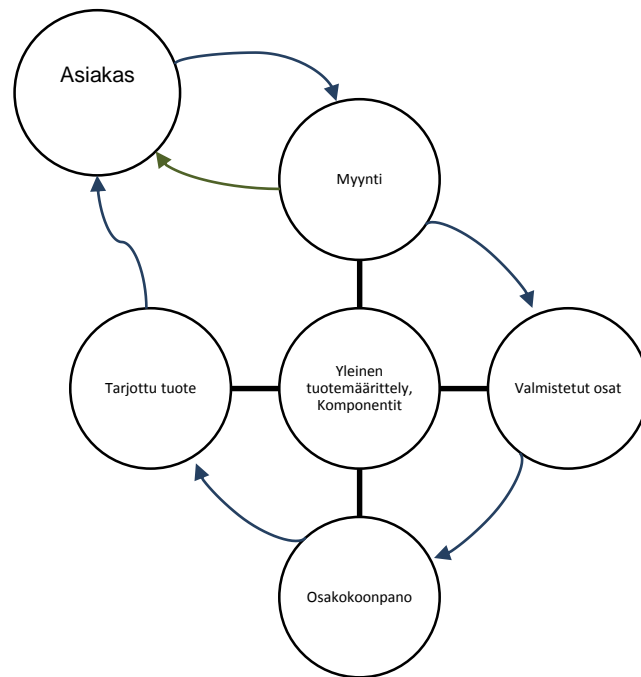
*Projektointi* tuottaa täysin asiakasräätälöityjä ETO-tuotteita (Engineer-to-order-tuote), jotka sisältävät projektikohtaista tuotteen suunnittelutyötä. Yksilöllisten tuotteiden valmistusmäärät ovat usein pieniä ja variaatiot tuotteiden ja osien välillä suuria. [17]



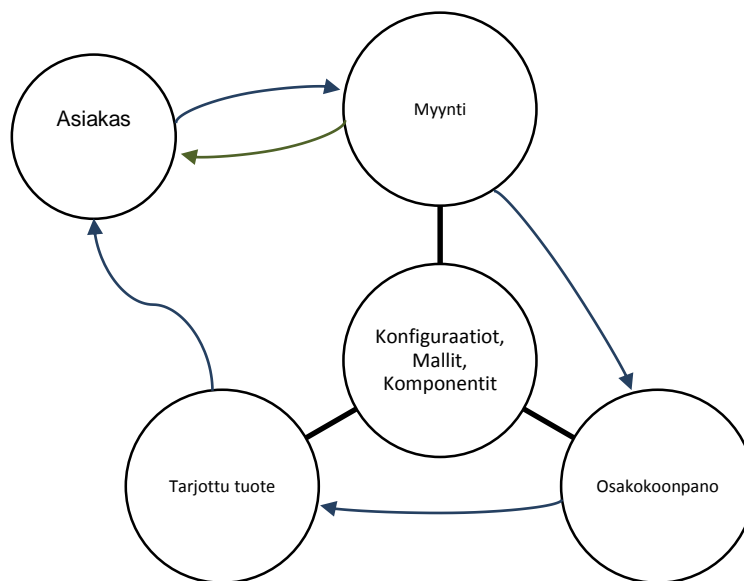
**Kuva 11: Engineer-to-order-toimitusketjun periaate.**

*Tilausohjautuvassa tuotannossa* tuotteita valmistetaan asiakkaan tarpeiden mukaan. Tyypillisesti tuotteen kysyntä voi olla vähäinen ja tuotevalikoima laaja. Tuotteen yksilöhinta voi olla korkea ja toimitusaika pitkä. Tuotteen valmistuksen edellytyksenä on yleinen määrittely tuotteen vaatimuksille. Tilausohjautuvalle tuotannolle vastakohta on *varastohjautuva tuotanto*, jossa tuotteita valmistetaan varastoon arvioidun menekin perusteella ja toimitus voidaan suorittaa nopeasti.





**Kuva 12: Make-to-order-toimitusketjun periaate.**



**Kuva 13: Assemble-to-order-toimitusketjun periaate.**

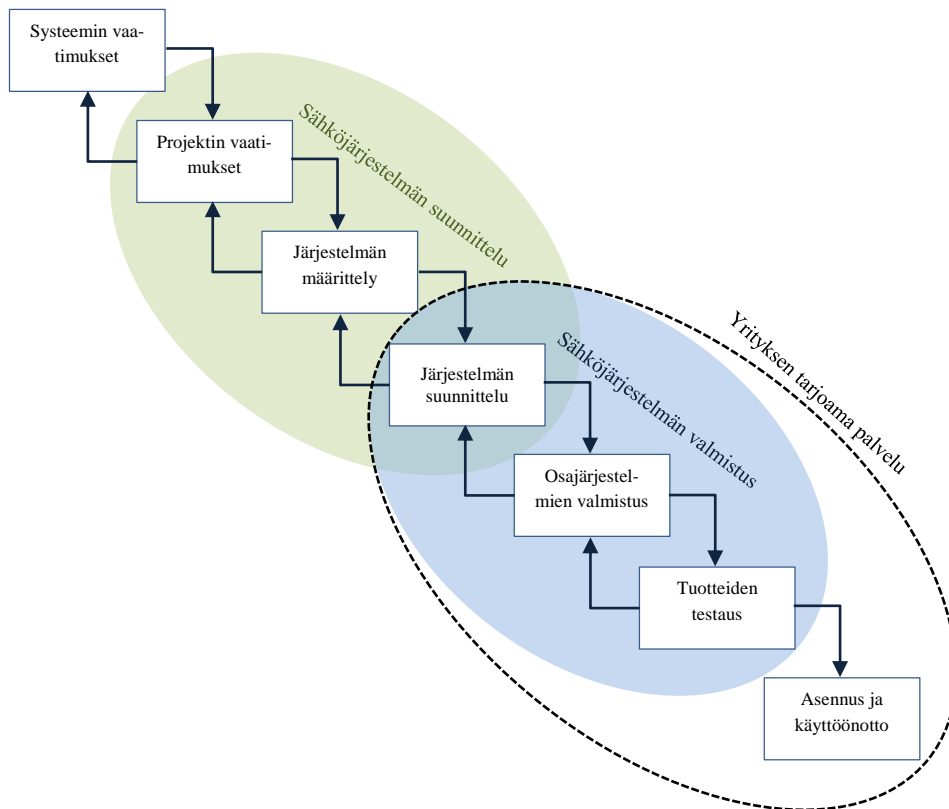
Tilausohjautuvassa kokoonpanossa osia tai osakokoonpanoja voidaan kasata varastoon. Asiakkaan vaatimuksen mukaan tuotteeseen sisällytetään tarvittavat komponentit ja osajärjestelmät. Asiakasohjautuvassa asennuksessa tuote voi olla myös konfiguroitavissa (Configure-to-order) asiakkaan valitessa haluamansa tuotteen komponentit. [18][19]

### 3. TOIMINNAN JA KEHITYSTARPEIDEN HAVAINNOINTI

Tässä luvussa esitellään sähköjärjestelmien ja sähkökeskusten valmistus- ja toimitusprosessi yleisellä tasolla sekä yrityksen ja kehitystyön tavoitteita. Lisäksi esitellään työn aiheeseen liittyvän keskustuotteen ominaisuuksia ja rakennetta.

Luvun lopussa tuodaan ilmi suunnittelutyön kehitystarpeita ja niiden vaikutusta projektin toimitukseen. Analyysistä tehtävät johtopäätökset toimivat pohjana 4. luvun kehitystyölle.

#### 3.1 Sähköjärjestelmien toimitusprosessi



**Kuva 14: Sähköjärjestelmän toimitusprosessin elinkaari.**

Yrityksen tavoitteena on kokonaisvaltainen sähköjärjestelmien toimitus sisältäen suunnittelun, tuotannon, asennuksen, käyttöönoton ja ylläpidon. Keskusvalmistus on keskeisin osa yrityksen toimintaa. Yrityksen näkökulmasta suunnittelulla halutaan vaikuttaa toimitusprosessin läpimenoon. Suunnittelun, asennuksen ja käyttöönoton tarjoaminen monipuolistaa keskusvalmistajan palvelua asiakkaille.

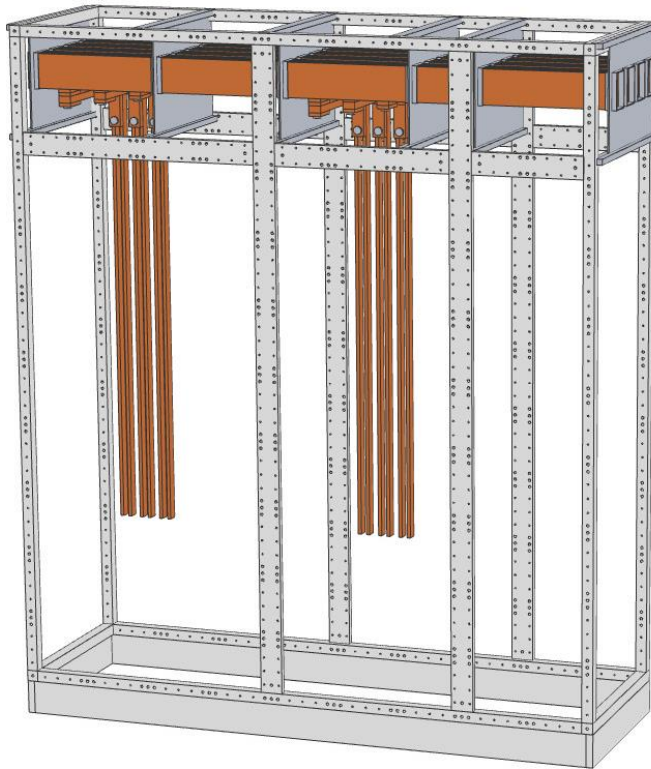
## **3.2 Tietoa keskustuotteista**

Suuri osuus keskusvalmistuksen tuotteista ovat tilaus- tai asiakasohjautuvia vakiotuotteita, joiden lisäksi valmistetaan projektituotteita. Teollisuuden sähkönjakelu- ja prosessisähkökeskukset ovat lähes poikkeuksetta projektikohtaisia suunnittelukokonaisuuksia. Eniten keskusvalmistajan suunnitteluresursseja vaativat kennorakenteiset prosessisähkökeskukset, joita valmistetaan prosessiteollisuuden järjestelmiä toimittaville asiakasyrityksille. Projektitoimitus sisältää myyntityön, suunnittelun, komponenttihankinnat, valmistuksen, testauksen ja toimituksen.

Sähkökeskus on keskeinen osa sähköjärjestelmää, jonka suunnittelussa huomioidaan järjestelmän vaatimukset. Suuret prosessiteollisuuden järjestelmätoimitukset sisältävät usein useamman keskuksen, jotka kytkeytyvät kukin omaan prosessin osa-alueeseensa tai järjestelmän hierarkiassa pääkeskuksella on toimialuekohtaisia alakeskuksia.

### **3.2.1 Kennorakenteisen keskuksen valmistus**

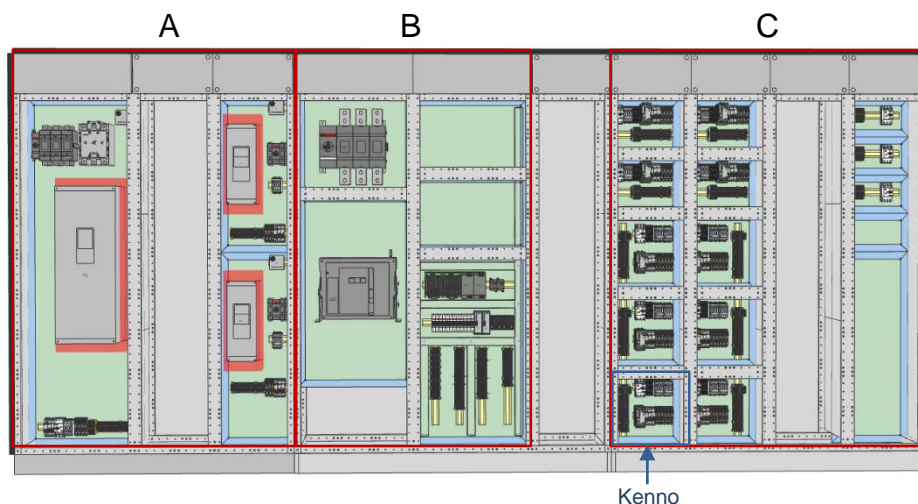
Kennorakenteisen sähkökeskuksen runkorakennetta kutsutaan modulaariseksi rakenteeksi johtuen rakenteen mitoituksen modulaarisuudesta. Runkorakenteen fyysisten mittojen yksikkönä käytetään kuution mallista moduulia, jolla on vakioimitat. Modulaarinen runkorakenne mahdollistaa joustavan tilojen mitoituksen ja sijoittelun eikä aseta keskuksen ulkomitoille rajoituksia.



***Kuva 15: Esimerkki keskuksen runkorakenteesta.***

Sähkökeskus on sähköjärjestelmän sähköjakelun komponentti. Keskus sisältää aina syöttöosion, jolle syötetään keskuksen sisäisten toimintojen ja sähköjakelun tarvitsema sähköteho. Suurissa prosessisähkökeskuksissa syöttöosio vaatii kokonaisen keskuksen kentän. Syöttökentässä on tyypillisesti sähkönsyötön pääkatkaisija tai -kytkin, ohjauskomponentit, mittaukset, ohjausjännitteen jakelu, väylälaitteet ja maadoituskytkin. Prosessisähkökeskusta esittävässä kuvassa (Kuva 16) osa B on tilavaraus keskuksen syöttökentän laitteille.

Prosessisähkökeskus sisältää lähtöyksiköitä, jotka ovat prosessin toimilaitteiden sähkönsyöttö- ja sähkönsyötön ohjausjärjestelmiä. Kennorakenne mahdollistaa eri toimilaitteiden sähkönsyöttöjen ja niiden ohjausten osastoinnin omiin yksittäisiin tiloihin, jolloin vikatilanteessa vian vaikutus ja huoltotyöt saadaan rajattua pienelle alueelle. Prosessisähkökeskuksissa osastointi on yleinen vaatimus, joka huomioidaan automaattisesti suunnittelussa.



**Kuva 16: Prosessisähkökeskus, joka sisältää kennokohtaisia kokoonpanoja.**

Keskuksen lähtöyksiköt ovat usein kennokohtaisia kokoonpanoja sisältäen yhden prosessin toimilaitteen sähkönsyöttöön liittyvät komponentit. Tyypillisiä lähtöyksiköitä ovat suorat moottorilähdöt, taajuusmuuttajalähdöt ja kytkinvarokelähdöt sähkönsyötöille alempiin järjestelmiin. Prosessisähkökeskusta esittävässä kuvassa (Kuva 16) osa A sisältää erikokoisia taajuusmuuttajalähtiä. Osa C sisältää suoria moottorilähtiä osastoituina omiin kennokohtaisiin tiloihinsa. Komponentit asennetaan tilaan sijoitettavalle asennuslevylle, jonka kokoonpano ja johdotustyöt voidaan suorittaa työpöydällä irrallaan keskuksesta.

### 3.3 Yleistä tietoa keskustuotteiden toimituksesta ja suunnittelusta

Tyypillinen toimitusprojekti sisältää tavallisesti viisi merkittävää vaihetta, joihin suunnittelulla voidaan vaikuttaa:

1. Tarjousvaihe (Alustavat komponenttivalinnat, keskuksen rakenne ja mitat)
2. Suunnittelu (Kaupan syntymisen jälkeinen suunnittelutyö ja valmistusaineiston tekeminen)
3. Tuotannon esivalmistelu (Komponenttimerkintöjen, kilpien tai johdinsarjojen valmistaminen)
4. Valmistus
5. Jälkimyynti (Suunnitteludokumenttien viimeistely, joista voidaan erotella suunnittelun jälkeen tulleet osa- ja rakennemuutokset ja muut lisätyöt)

Edellä mainittuja vaihteita hallitaan sekä myynnin että suunnittelun kautta.

### 3.3.1 Keskuksen suunnitteluprosessin vaatimukset

Sähköjärjestelmän suunnitteluprosessi sisältää useamman eri tahon, joiden tulee toimia yhteistyössä. Keskustoimittajan asiakas toimii usein välikätenä loppuasiakkaalle, jolla on omat vaatimuksensa toteutuksen suhteen. Suunnittelun kehitystyössä on mukana asiakkaan oma suunnittelu, jonka lisäksi voi olla myös ulkopuolinen suunnittelutoimisto tai sähköjärjestelmätoimittajan oma suunnittelu. Asiakas valitsee keskuksen sisältämien toiminnallisuuksien toteutussuunnittelun tekevän tahon ja tekee tätä varten suunnittelun vaatimusmäärittelyn. Tällöin määräytyy myös keskustoimittajan suunnitteluvastuun osuus.

Sähköjärjestelmään sisältyvät keskuksat ovat usein omia yksittäisiä suunnittelukokonaisuuksia koko järjestelmän vaatimukset huomioiden. Asiakas tai sähköjärjestelmän suunnittelija muodostaa keskuksen vaatimusmäärittelyn, joka sisältää tekniset ja toiminnalliset vaatimukset. Sähkökeskusten projektikohtaisiin variaatioihin vaikuttavat toimintaympäristön ja sähköistettävän prosessin vaatimukset. Poikkeuksellisissa toimintaympäristöissä loppusijoituskohteen erityisvaatimukset voivat luoda haasteita tuotteen suunnitteluun ja sitä kautta hinnoitteluun, sekä valmistusprosessin hallintaan vaatimusten täyttämiseksi. Ennen tuotannon aloitusta tarvitaan asiakkaan hyväksyntä suunnitelmille.

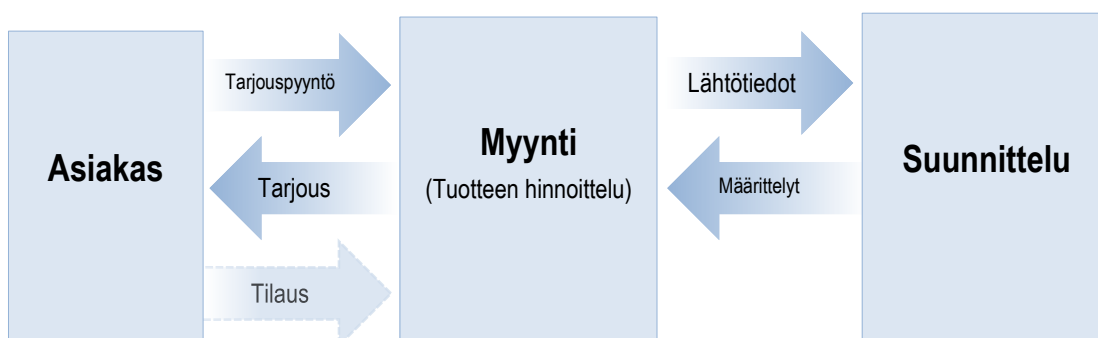
Valmis toimitus sisältää keskuksen liittyvän dokumentaation, jonka valmistelu aloitetaan jo ennen tuotannon aloitusta. Dokumenteissa esitetään tarvittavat komponentit, niiden sijainnit, rakenteelliset vaatimukset ja kytkennät. Valmiissa osaluettelossa tulisi näkyä jokaisen keskuksessa esiintyvän komponentin tuotetunnus, valmistaja ja positiotunnus sekä mahdollisesti myös sijainti keskuksessa. Toimitusvalmiin tuotteen viimeistelyjen dokumenttien tulisi vastata tarkalleen tuotteen rakennetta ja kokoonpanon toteutustapaa. Dokumentteihin liitetään myös tuotteen koestuspöytäkirjat ja muu erikseen vaadittu materiaali, joilla osoitetaan tuotteen vaatimusten mukainen toiminta ennen toimitusta loppusijoituskohteeseen.

## 3.4 Nykyisen toiminnan kuvaus

Nykyistä toimintaa on havainnoitu pääasiassa osallistumalla toimintaan, keskusteluilla ja haastattelemalla sidosryhmien henkilöitä.

### 3.4.1 Tarjousprosessi

Ennen toimitussopimuksen syntymistä suoritetaan projektin mukainen tarjousprosessi. Asiakkaan tarjouspyynnön perusteella muodostetaan asiakkaan tarpeita vastaava tarjous. Tarjous sisältää tuotteen hinta-arvion ja määrittelyn ominaisuuksista, joita tuotteeseen on sisällytetty. Hinta-arvio perustuu keskuksen runkorakenteen, komponenttien, arvioitujen työtuntien sekä muihin toimitukseen liittyviin kustannuksiin.



**Kuva 17: Tarjousprosessi, joka sisältää suunnittelun osuuden.**

Kennokeskusten hinnoittelu tehdään lähes aina projektikohtaisesti. Lähtöaineisto ja tuotteen tekniset vaatimukset saadaan tarjouspyynnön yhteydessä. Puuttuviin välttämättömiin tietoihin pyydetään lisäyksiä tarpeen vaatiessa. Hinnoittelussa on tärkeää selvittää lähtötiedoista merkittävästi kustannuksiin vaikuttavien kokonaisuuksien sisältö sekä tarpeen vaatiessa pyytää asiakkaalta tarkennuksia vaatimuksista. Myynti määrittelee alustavan tarjousvaiheen osaluettelon hintaan merkittävästi vaikuttavista peruskomponenteista. Myynti voi käyttää edellisten vastaavien projektien laskentataulukkoja pohjana uudelle projektille, kun tarvitaan nopeasti alustavat komponenttitiedot tarjousaineistoon. Myynti kirjaa tarjoukseen tuotteeseen sisällytetyt toiminnot, joka toimii määritelmänä tuotteen hinta-arviolle.

Arvio runkorakenteen mitoituksesta syntyy alustavan layout-suunnittelun ja vaatimukset täyttävän rakennetyypin valinnan perusteella. Suunnittelu tekee alustavan layout-kuvan ja määrittelee asiakkaan vaatimukset täyttävän standardin mukaisen keskusrakenteen layout-suunnittelun ohessa. Suunnittelu määrittää osajärjestelmien tilavaraukset oletettujen komponenttivalintojen ja aiempien vastaavien suunnitelmien perusteella osajärjestelmien tilavaatimukset toimivat modulaarisen runkorakenteen mitoituksen perustana. Alustavaa layout-suunnitelmaa käytetään keskuksen runkorakenteen hinnoitteluun ja sen avulla voidaan myös esittää alustavat rakennesuunnitelmat asiakkaalle.

Myynti lisää tarjoukseen arvion muista työ kustannuksista materiaalikulujen lisäksi. Kustannuksia voivat olla erikseen määritelty suunnittelutyön osuus, tuotannon työtunnit ja tuotteen toimitus.

### 3.4.2 Suunnittelu ja tuotannon esivalmistelu

Toimitussopimuksen syntymisen jälkeen tuotteelle tehdään toteutussuunnittelu sisältäen lopulliset materiaali- ja komponenttivalinnat. Toiminnallinen ja rakenteellinen suunnittelu muodostavat yhdessä keskuksen toteutussuunnittelun. Toiminnallisessa suunnittelussa tehtävät dokumentit kuvaavat osajärjestelmien toimintaperiaatteen ja ovat säh-

kösuunnittelussa yleensä piirikaaviodokumentteja. Rakennesuunnittelun dokumentit kuvaavat fyysisen mitoituksen ja keskusrakenteen olennaiset tiedot. Keskuksen layout-dokumentit kuvaavat osajärjestelmien ja komponenttien sijoittelun keskuksessa.

Varsinaisessa suunnitteluprosessissa keskuksessa usein esiintyvät osakokonaisuudet pilkotaan omiksi itsenäisiksi yksiköiksi. Suunnitteluprosessin lähtötietojen pohjana on useimmiten asiakkaan toimittama keskuksen *kulutuspisteluetelo*, jossa listataan prosessin toimilaitteiden vaatimat sähkötehot ja alemmille järjestelmille tarjottavat sähkönsyötöt. Toimilaitteille ja muille järjestelmille tarjottavien sähkönsyöttöjen kokoonpanot ovat tuotteen hierarkiassa keskuksen osajärjestelmiä. Tuotteessa toistuvasti esiintyvien osajärjestelmien mukaiset kokoonpanot ja toiminnot voidaan esittää tyyppidokumentaationa. Tyyppidokumentti kuvaa tietyn tyyppisen osajärjestelmän toimintaa. Dokumenttikokonaisuus integroidaan monistamalla kyseisten osajärjestelmien tyyppidokumentteja ja niiden yhteyteen liitetään yksittäiset erikseen suunnitellut osakokonaisuudet. Tuotetta kuvaavaan dokumenttikokonaisuuteen täydennetään komponenttien mitoitukset, osajärjestelmille ominaiset tunnistetiedot ja liitännät ulkopuolisiin järjestelmiin.

Keskuksen alustavassa layout-suunnittelussa on huomioitu komponenttien tilantarve, toiminnallisuuden ja valmistuksen kannalta järkevä arkkitehtuuri ja yleiset standardit. Rakenteen valinnassa on huomioitu asiakkaan teknisessä erittelyssä mainitut mekaaniset ja sähköiset vaatimukset. Olennaisia rakenteeseen vaikuttavia tietoja ovat kaapelointisuunnat, nimellisvirta, jännite, keskusrakenteen oikosulunkestovaatimukset, kotelointiluokka ja syöttökenttään tarvittavat laitteet. Keskusrakenteen hintapaineen vuoksi osajärjestelmien tilankäyttö pyritään optimoimaan. Optimointia rajoittavina tekijöinä huomioidaan kojeiden lämpeneminen, ulkoinen kaapelointi ja asennettavuus.

Piirikaavio- ja layout-dokumentaatiota tehdessä osaluettelossa esiintyvät komponentit valitaan taustatiedoiksi, jolloin ne voidaan kuvata tarkasti tuotetta kuvaavassa dokumentaatiossa. Suunnittelu hyödyntää suunnittelujärjestelmien komponenttitietokantoja suunnitteludokumenttien muodostamisessa. Useimmat käytettävät komponentit voidaan hakea tietokannasta ERP-järjestelmän tunnuksen perusteella. Suunnittelu hyödyntää myynnin komponenttimääritelmiä dokumenttien esivalmistelussa ja antaa palautetta komponenttivalinnoista myynnille.

Suurissa projekteissa suunnittelu pyrkii saamaan layout-määrittelyn mahdollisimman nopeasti tuotannolle, joka esittää osajärjestelmien tilavaatimukset ja osastoinnin. Suurissa projekteissa komponentti-layout saadaan valmisteltua vasta projektin edetessä. Tarkka komponenttitason layout-dokumentointi tehdään projekteissa, joissa voidaan aikataulullisesti tehdä suunnittelu täysin valmiiksi ennen tuotannon aloitusta. Piirikaaviosuunnittelu tehdään poikkeuksetta tapauskohtaisesti ja usein suunnitelmat tarkentuvat projektin edetessä. Projektin aikana tulevista muutoksista tiedotetaan tuotannolle. Jälki-myynnissä lopulliset dokumentit päivitetään tuotantoaineistoon kirjattujen muutosten perusteella.



### 3.4.3 Tuotanto- ja toimitusprosessi

Keskustuotannon prosessiin sisältyy ostotoiminta, keskuksen valmistus, testaus ja toimitus. Myynti hoitaa projektin kaupallisen osuuden yhdessä oston kanssa. Tuotannon johto hallitsee valmistusprosessia, jossa myynti ja suunnittelu toimivat teknisenä tukena.

Myynti hallitsee keskuksen hinnoitteluun perustuvaa osaluetteloa valmistusprosessin aikana sekä sen jälkeen ja toimii projektin aikana asiakasrajapinnassa. Päivitykset kulkevat usein myynnin kautta suunnitteluun ja tuotantoon. Kokonaisvaltaisessa suunnittelussa suunnittelija on suoraan yhteydessä asiakkaan suunnittelusta vastaavaan henkilöön, kun suunnittelu tekee toteutuksen asiakkaan tarpeen mukaan. Projektinhallinta on enimmäkseen myyntihenkilön vastuulla, mutta suunnittelu ottaa kantaa sekä myynnin että tuotannon esittämiin teknisiin kysymyksiin. Suunnittelun on tiedotettava myynnille kaikista projektin kustannuksiin vaikuttavista teknisistä muutoksista.

Projektin aikataulu ja suunnitelmien valmius määrittää tuotannon aloittamisajankohdan. Osaluettelo kertoo tuotantoprosessin alkuvaiheessa tuotannolle ja ostolle keskukseen tarvittavat komponentit. Runko-osien tilaus voidaan tehdä vasta rakennesuunnitelmien valmistuttua. Runko-osien tilaus tapahtuu projektikohtaisesti ja kokoonpanon aloitus ja osien tilaus voidaan usein ajoittaa täsmällisesti rakenneosien toimitusajan perusteella. Rakennetta kuvaava dokumentaatio esittää tarkalleen tarvittavat vaatimusten mukaiset rakenneosat. Tuotannolla on riittävä aineisto kokoonpanokuvissa esitettyjen runkorakenteen kokoonpanomenetelmien selvittämiseen ilman erillistä ohjeistusta. Komponenttitason layout-suunnitelman puuttuessa tuotanto joutuu usein tekemään omia komponenttitason kokoonpanojen toteutuksia layout-määrittelyn ja piirikaavion mukaan. Tuotannon aikana tulee lähes poikkeuksetta tarkennuksia suunnitelmiin, joita tuotanto kirjaa ylös tuotantodokumentaatioon.

## 3.5 Tavoiteltavan toiminnan kuvaus

Tavoiteltavan toiminnan kuvaus perustuu kehitystyön lähtökohtiin ja ongelmattomasti kuvattavaan toimitusprosessiin.

### 3.5.1 Tarjousprosessi

Myyntin tavoitteena on toimia nopeasti ja luotettavasti tarjouksen hinta-arvion määrittelyssä. Ideaalitapauksessa tuotteelle saadaan paikkansapitävä hinta-arvio, jolla voidaan myös luotettavasti indikoida projektin kannattavuutta keskusvalmistajalle. Asiakkaalle toimitetaan tarjous, joka sisältää selkeän määrittelyn toimituksen sisällöstä.

Tavoiteltavassa toiminnassa tarjouspyynnön vaatimuksiin voidaan vastata valmiilla toteutussuunnitelmilla, jotka ovat helposti lisättävissä tuotteen rakenteeseen. Myynti voi

räätälöidä tuotteen ominaisuuksia toiminnallisilla osakokonaisuuksilla, jotka ovat valmiita kokoelmia toimintojen toteuttamiseen tarvittavista komponenteista.

Suunnittelu vastaa myynnin tarpeeseen tehokkaasti ja tarjoaa kaikki vaaditut tiedot selkeässä muodossa. Suunnittelu määrittää runkorakenteen mitat osajärjestelmien fyysisten tilavaatimusten perusteella. Tuotteen osajärjestelmien määritelmien tulisi olla selkeitä osakokonaisuuksia, joiden rakenne ja fyysiset ja toiminnalliset ominaisuudet tunnetaan. Alustavat layout-suunnitelmat koostuvat optimoiduista valmiista osajärjestelmien ratkaisuista, joiden kokoonpanomenetelmät tunnetaan.

### 3.5.2 Suunnittelu ja tuotannon esivalmistelu

Ideaalitapauksessa suunnittelu pystyy tuottamaan tarkan tuotantovalmiin dokumentaation ennen tuotantoprosessin aloitusta. Ennen tuotannon aloitusta voidaan osoittaa valmiilla dokumenteilla tehdyt suunnitelmat asiakkaalle ja asiakkaan palaute huomioidaan tuotantodokumenttien viimeistelyssä. Tuotannolle tarjottavia suunnitelmia täydennetään vain pienillä korjauksilla tuotannon edetessä. Projektituotteiden toimitus ja suunnittelu perustuvat nykyisellään projektikohtaisiin vaatimuksiin, yleiseen määrittelyyn, tavaratoimittajiin, käytettävissä oleviin resursseihin sekä tekijöiden osaamiseen.

Tavoiteltavassa toiminnassa suunnittelu ja komponenttitiedot on hallittavissa yhdellä selkeällä järjestelmällä. Suunnitteludokumentteihin määritellään tuotteessa käytettävät komponentit, joiden perusteella saadaan täydellinen keskuksen osaluettelo. Komponenttitietoja voidaan hyödyntää myynnin suorittamassa tuoterakenteen hallinnassa, ostotoimpiteissä sekä tuotannossa. Osaluettelo, layout ja piirikaavio sisältävät tarkalleen samat komponenttitiedot. Projektin aikana tulevat muutokset päivitetään suunnittelujärjestelmän kautta hallittaviin tietoihin. Projektin valmistuttua suunnittelujärjestelmästä saadaan viimeistelty osaluettelo jälkimyyntiä varten.

Ideaalitapauksessa tilattu tuote on konfiguroitavissa pitkälle valmiista modulaarisista piirikaaviosuunnitelmista. Suunnittelun lähtötiedoissa esitetyistä vaatimuksista saadaan selkeät parametrit, jotka toimivat pohjana osakokonaisuuksien suunnittelulle. Osakokonaisuudet ovat valmiita laadukkaita layout- ja piirikaaviosuunnitelmia, jotka ideaalitapauksessa täyttävät kaikki standardien ja asiakkaiden asettamat vaatimukset. Piirikaaviosuunnittelussa osajärjestelmiä kuvaavista tyyppidokumenteista integroidaan dokumenttikokonaisuus, jota hallitaan tyyppidokumentaation kautta. Tyyppidokumentit sisältävät oikeat loppuun asti suunnitellut toiminnot sekä parametrit, joiden avulla esitetään osajärjestelmäkohtaiset tiedot dokumenttikokonaisuudessa.

### 3.5.3 Tuotanto- ja toimitusprosessi

Ideaalitapauksessa komponenttien hankinta ajoittuu tuotannon tarpeen ja projektin aikataulun mukaan ja eikä kalliita komponenttivarastoja tarvita. Tuotannon tulisi toimia sujuvasti komponenttihankinnoista prosessin läpi valmiiksi toimitettavaksi tuotteeksi.

Tavoiteltavassa toiminnassa tuotannon alkaessa menetelmät, materiaalit ja esivalmistelut ovat tarkalleen selvillä, eikä muita tuotannon aloitusta hidastavia tekijöitä esiinny. Keskusrakenteen mekaniikkakokoonpanon alkaessa rakennetta kuvaavissa dokumenteissa ei esiinny puutteita ja runkorakenteen osat on voitu tilata virheettömästi. Asennuslevyille tehtävät osakokoonpanot eivät ole riippuvaisia keskusrungon kokoonpanosta ja niiden osakokoonpanot on loppuun asti suunniteltu. Keskuksen kokoonpano viimeistellään yhdessä työpisteessä, jossa suoritetaan myös tuotteen testaus. Valmistusprosessi etenee virheettömästi ja tuote on asennuksen ja käyttöönoton kannalta hyvin suunniteltu ja valmistettu. Testattu tuote toimitetaan asiakkaalle heti sen valmistuttua.

Tuotannon aikana tulleet korjaukset suunnitteluun voidaan päivittää heti tuotteen testauksen valmistuttua. Toimitusprosessi voidaan viedä myös dokumentaation osalta nopeasti loppuun, kun tuote on toimitusvalmis.

## 3.6 Nykyisen ja tavoiteltavan toiminnan ero

Analyysissa pohditaan tavoitteen ja nykytilan eroa ja syy-seuraus-suhteita eri toiminnan osa-alueilla.

### 3.6.1 Tarjousprosessi

Nykyisessä toiminnassa hinnoittelu tehdään projektikohtaisesti. Myynti ei voi muodostaa tuotetta selkeistä osakokonaisuuksista ilman projektikohtaista selvitystyötä ja esivalmistelua. Suunnittelun layout-määritelmät perustuvat kokemuspohjaan vastaavanlaisista projekteista eikä valmiisiin dokumentoituihin suunnitelmiin. Myyntihenkilöt eivät nykyisessä toiminnassa hyödynnä suunnittelun tarjoamia tietoja, eikä suunnittelu tai myynti ole tehnyt valmiita alustoja osaluettelopohjaisen hinnoittelun suorittamisessa. Keskusvalmistaja ei ole määritellyt lähtötietojen muotoa asiakkaalle, ellei toiminnasta ole erikseen sovittu. Asiakkaan toimittamat lähtötiedot ovat usein muodossa, joka ei suoranaisesti tue suunnittelun tarpeita. Usein lähtötiedot voidaan etsiä asiakkaan toimittamasta materiaaleista, mutta selkeätä lähtötietojen tarvemäärittelyä ei ole tehty, vaikka ne pääpiirteittäin on tiedossa.

Myynnin suunnittelulta tarvitsemat tiedot tunnistetaan selkeästi, mutta lähtöaineistosta ja myynnin vaatimuksista puuttuvat määrittelyt voivat esiintyä puutteina valmiissa tarjousvaiheen suunnitelmissa. Valmiiden suunnitelmien puutteet hidastavat hinnoittelua ja heikentävät pohjaa hinnoittelun luotettavuudelta. Tuotteen kokoonpanomääritelmät eivät

useinkaan ole täysin optimoituja, joka vaikuttaa hintaan keskuksen runkorakenteen osalta. Runkorakenteen liialliset kustannukset vaikeuttavat toimitussopimuksen syntymistä.

### 3.6.2 Suunnittelu ja tuotannon esivalmistelu

Nykyisen toiminnan ja tavoitteiden ero tulee esiin suunnittelutyön valmiudessa tuotannon alkuvaiheeseen. Suunnittelu ei pysty aikataulullisesti luomaan valmiita toimivia suunnitelmia muiden osapuolten tarpeisiin. Suunnittelutoiminta ei palvele riittävän hyvin asiakkaan aikatauluvaatimuksia ja eikä edistä tuotannon aloitusta. Myöskin suunnittelutyön aikataulujen arvioinnista puuttuvat selkeät perusteet. Nykyinen toiminta poikkeaa tavoitteista huomattavasti suunnittelun toimitusketjun osalta. Ideaalitoiminnan tavoitteena on että tuoterakenteet ja niiden osakokonaisuudet tunnetaan ennalta ja rakenne voidaan kuvata selkeiden attribuuttien avulla. Tavoitteissa tuoterakenteen muodostamisen keskipisteenä on valmiit dokumentoidut kokoonpanosuunnitelmat ja konfiguraatiot, kun nykyisessä toiminnassa suuri osuus on tapauskohtaista määrittelyä.

Suunnittelun vaiheistus ja menetelmät eivät mahdollista ideaalitapauksen mukaista toimintaa. Ideaalitoimintaan vaadittavat osakokonaisuuksien selkeät ennalta määritellyt suunnitelmat puuttuvat, eikä tyyppidokumentaation muotoa saada viimeisteltyä riittävän tarkasti suunnittelun alkuvaiheessa. Valmiita kokoonpanosuunnitelmia ei ole suunniteltu riittävästi. Uudelleen hyödynnettäviä osakokonaisuuksia löytyy projektihistoriasta, mutta niiden systemaattista käyttöä suunnittelutyössä ei ole kehitetty. Projektin alkuvaiheessa on epäselvää, millä menetelmillä ja tiedoilla dokumenttikokonaisuus integroidaan. Tavoiteltavassa toiminnassa kuvattuja menetelmiä ei hyödynnetä, vaikka suunnittelujärjestelmät sisältävät siihen soveltuvia ominaisuuksia.

Komponenttien määrittelyä voidaan tehdä useassa erillisessä järjestelmässä, mutta tavoitteena on selkeä suunnittelutyön ja komponenttitietojen hallinta. Vaikka suunnittelulla on käytössään tarvittavat tietokantapohjaiset suunnittelujärjestelmät ja suunnittelua tehdään komponenttitietoihin perustuen, komponenttien määrittelyssä ei hyödynnetä suunnittelujärjestelmien komponenttitietokantoja. Tavoiteltavassa toiminnassa suunnittelun tekemät määrittelyt tukevat myynnin komponenttien hallintaa. Nykyisessä toiminnassa komponenttitietokannasta voidaan hakea komponentteja suunnitteludokumentteihin ERP-järjestelmän ja valmiin osaluettelon tietojen perusteella, mutta tietoa ei voida tarjota toiseen suuntaan osto-, myynti- tai tuotantotyön tueksi. Komponenttitietokannan tiedon sisältö tukee osittain tavoiteltavaa toimintaa, mutta vaatii selkeämmän määrittelyn ja ylläpidon.

Rinnakkaisten järjestelmien käyttö aiheuttaa ylläpitovaikeuksia, päällekkäistä työtä sekä lisätarvetta tiedon siirtymiselle osapuolten välillä. Ylimääräinen tiedonsiirron tarve vaikeuttaa projektin tilanteen seuranta ja hallintaa.

Suunnitteludokumentaation integroinnissa tuotteen osajärjestelmien mitoitustietojen, tunnistetietojen, komponenttityyppien ja liityntöjen määrittely keskuksen ulkopuolisiin järjestelmiin sisältää yksinkertaista aikaa vievää työtä. Vaikeasti hallittavat tyyppidokumentaatioon perustuvat piirikaaviokokonaisuuden integrointimenetelmät hidastavat suorittamista ja lisäävät virheiden todennäköisyyttä. Dokumentointivirheet voivat aiheuttaa viivästyä tuotantodokumenttien viimeistelyssä.

### 3.6.3 Tuotanto- ja toimitusprosessi

Toimitusprosessin mallissa (Kuva 14) suunnittelutyö tekee määrittelyt tuotantovaiheen toteutukseen. Nykytilassa esteenä tuotannon tehokkaalle aloittamiselle on määrittelyn puutteet tuotannon alkuvaiheessa. Puutteita voi esiintyä komponenttitiedoissa tai toteutussuunnittelussa tuotannon alkaessa.

Syy ongelmiin on suunnittelutoiminnan vaikeus pysyä aikataulussa ja tehdä valmiita toimivia määritelmiä nopealla aikataululla. Tuotannon toimintatavat perustuvat enimmäkseen hiljaiseen tietoon eikä suunnitelmista ole tarkkoja dokumentteja. Projektihistoriaa ei hyödynnetä riittävän hyvin kokoonpanojen suunnittelussa ja toteutuksessa. Vakioituja ratkaisuja ei ole suunniteltu selkeästi havaittaville usein toistuvilla ongelmilla kokoonpanossa. Myöskään koko tuotteen suunnitelmien hallintaa ei aina suoriteta pienempien toistettavien osakokonaisuuksien avulla.

Tuotannon aikana esiintyvät puutteet työllistävät kaikkia osapuolia ja pahimmassa tapauksessa pysäyttävät tuotannon, mikä hidastaa projektien etenemistä. Osaluettelovirheet voivat vaikeuttaa kokoonpanotyön etenemistä tai pahimmassa tapauksessa pysäyttää työvaiheen. Epäselvät ja puutteelliset komponenttitiedot ja heikko tiedonkulku hidastavat ostotoimenpiteitä. Komponenttitason layout-suunnitelmiin joudutaan usein tekemään pieniä muutoksia tuotannon aikana ja sen jälkeen, joka hidastaa toimituksen loppuun saattamista dokumentaation osalta. Toimitusprosessin hidastavat tekijät varaavat resursseja, joita voisi hyödyntää muiden toimitusten valmisteluun.

## 4. KEHITYSTYÖ

Luvussa pohditaan tarkemmin tuotekehityksen menetelmien käyttöä kennorakenteisten keskusten suunnittelussa. Lisäksi pohditaan asiakaskohtaisen toiminnan kehittämistä ja kuvataan kehitysprojektin suunnittelun vaiheistamiseen parhaiten soveltuvaa prosessimallia. Luvun lopussa esitetään tuloksia tehdystä työstä tavoitteiden saavuttamiseksi.

### 4.1 Toiminnan kehitystarpeet

#### 4.1.1 Tarjousprosessi

Hinnoitteluprosessin tehokkuus perustuu läpimenoaikaan ja luotettavuuteen. Läpimenoaikaan vaikuttaa tehokas tiedon siirtyminen myynnin ja suunnittelun välillä sekä järjestelmä, jolla tuotteen määrittelyt tehdään. Luotettavuuteen vaikuttavat osaaminen ja tuotekehitystyössä tehdyt suunnitelmat sekä niiden käyttäminen oikeassa yhteydessä.

Parhaassa tapauksessa tarjousvaiheessa suunnittelutyön osuus jää pieneksi ilman että se lisää epävarmuutta tai hidastaa myyntityötä. Tätä tavoitetta tukee, kun tuoterakenne muodostetaan mahdollisimman pitkälle vakioiduista laadukkaista suunnitelmista valintaoperaatioilla. Tarjousvaiheessa ei useinkaan tarvita täysin tarkkaa osaluetteloa, joten aiemmissa projekteissa käytettyjä vastaavia kokoonpanoja voidaan käyttää useimpien projektien tarjousprosessin runkona. Tarkempi suunnittelu voi tosin helpottaa hankintaneuvotteluissa, mikäli suunnittelu voidaan viimeistellä nopealla aikataululla. Kriittiset ja kalliit komponentit on syytä sisällyttää tarjoukseen heti alkuvaiheessa.

Keskuksen runkorakenne vaikuttaa erityisesti keskuksen hintaan. Suunnittelussa käytettävät vakioidut tilankäytön kannalta optimoidut kokoonpanot tarjoavat paremmat mahdollisuudet kehittää kustannustehokkaita suunnitelmia, jotka täyttävät asiakkaiden ja standardien asettamat vaatimukset. Hinnoittelun pohjatyötä voidaan tehostaa dokumentoimalla aiempien projektien määritelmiä. Monimutkaisissa kokonaisuuksissa voidaan hyödyntää valmiita toiminnallisuuksiin perustuvia osakokoonpanosuunnitelmia, joita käytetään myös osaluetteloiden muodostamisessa. Tarjousvaiheessa ei tarvita täysin tarkkaa osaluetteloa, joten pieniä lisäyksiä voidaan tehdä vielä varsinaisen suunnitteluprosessin aikana. Tarjousvaiheessa keskitytään alustavan osaluettelon muodostamiseen, joka voi toimia myös suunnitteluprojektin pohjana. Kun komponenttivalinnat on suoritettu tarjousvaiheessa, voidaan varsinaisen suunnitteluprosessin aikana tehdä toiminnallisuuksien kuvaus valituilla komponenteilla.

Osaluettelon pohjatyö määrittelee osajärjestelmätyyppiin yleisesti kuuluvat peruskomponentit. Peruskomponenttien tyyppi on lähtökohtainen oletus osajärjestelmän kuvauksen perusteella ja komponentit valitaan tarkemmin mitoitusparametrin avulla. Tarvittavat

apukomponentit voidaan lisätä valmiiseen pohjaan, mikäli niitä ei ole valittu sisältyväksi peruskomponentteina. Pienet lisäykset eivät välttämättä vaadi erityistoimenpiteitä tarjousvaiheen suunnittelussa, vaan valmiit pohjat täyttävät usein hinnoittelun asettamat vaatimukset. On oltava selvää sekä asiakkaalle että myynnille, mitä suunnitelmiin on sisällytetty tarjousvaiheessa.

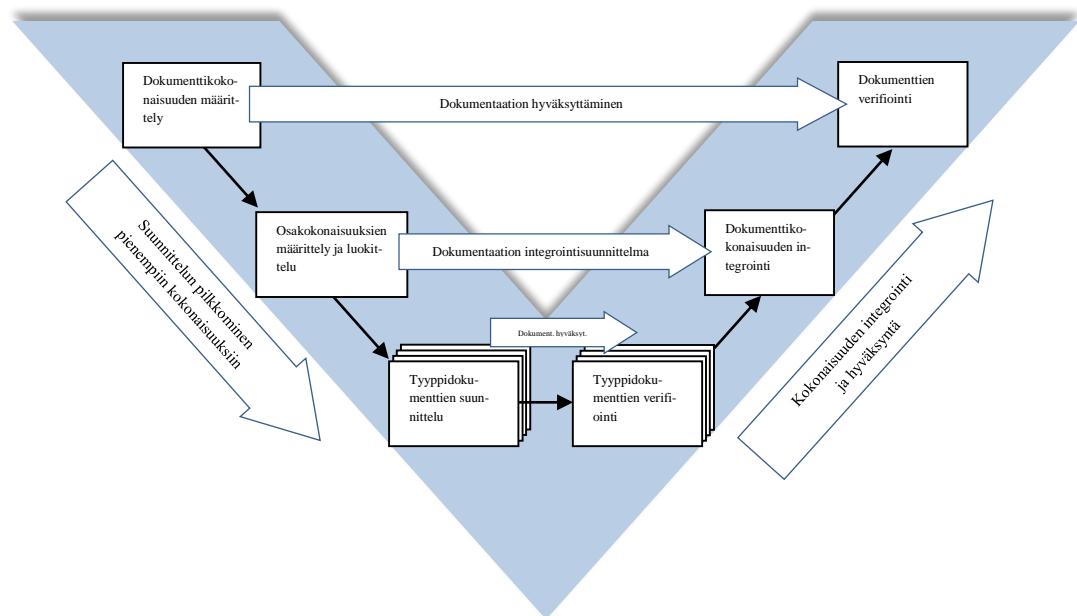
Alustava layout-suunnittelu on hyvä tehdä modulaarisille osajärjestelmille määriteltyjen tilavaatimusten perusteella ja alustava layout toimii määrittelynä seuraavassa projektin vaiheessa tapahtuvalle suunnittelulle. Kokoonpanojen toteutusten määrittely vaatii tuotekehitystyötä.

Tuotteistetut kokoonpanot pienentävät riskiä hinnoittelussa ja selkeyttävät omaa asemaa tarjouskilpailussa. Valmiit kokoonpanosuunnitelmat helpottavat kustannustehokkuuden kehitystyössä havainnoimaan kehityskohteita ja luomaan vertailupohjaa eri ratkaisujen välille.

#### **4.1.2 Suunnittelu ja tuotannon esivalmistelu**

Ensisijaiseksi suunnitteluprosessi kehitystarpeeksi osoittautui tehokkuuden parantaminen ja tarjottavan tiedon ja sen hallinnan kehittäminen. Aikataulussa pysyminen vaatii sekä suunnitelmien että suunnittelumenetelmien kehitystä, joilla vähennetään toistuvaa suunnittelutyötä. Suunnittelun lopputuloksen tulee olla virheetön ja tarjota muille sidosryhmille laadukasta tietoa toteutettavista suunnitelmista.

Suunnitteluprojekti vaatii alkuvaiheessa selkeän suunnittelutyön vaiheistuksen, jolle voidaan muodostaa aikatauluarvio. Toiminnallisen suunnittelun ideaalitapaus voidaan esittää prosessina (Kuva 18), jossa alin taso kuvaa tietokantapohjaista suunnittelua. Edeltävä osakokonaisuuksien määrittelyvaihe kuvaa suunnittelun vaiheistusta ja dokumentaation määrittelyä pienempiin kokonaisuuksiin. Dokumenttikokonaisuuden pilkkominen ja integrointi tulee suunnitella huolellisesti suunnittelun alkuvaiheessa, joka vähentää toistuvien korjausten tekoa projektin edetessä. Jotta toteutus voidaan suorittaa virheettömästi, tulee määrittelyvaiheen olla loppuun suoritettu. Määrittelyn tekeminen seuraavalle vaiheelle ja sen tunnistaminen ennen vaiheen suorittamista on edellytys oikealle toiminnalle. Osakokonaisuuksien määrittelyssä tyypidokumentaation input-/output-vaatimukset on selvillä ja niitä hallitaan dokumenttikokonaisuuden integroinnissa selkeillä parametreilla. Asiakkaalta on vaadittava selkeä hyväksyntä tyypidokumentaatiolle, jotta vältetään työläiden korjausten tekeminen dokumenttikokonaisuuteen.



**Kuva 18: Tyypidokumentteihin perustuvan suunnittelun prosessikuvaus.**

Tuotekehitystyöllä saavutettavia etuja kannattaa hyödyntää toistuvan yksinkertaisen työn välttämiseksi suunnittelun toteutusvaiheessa. Suurissa projekteissa, joiden toimitukseen sisältyy useita keskuksia, joissa esiintyy runsaasti samankaltaisia osakokoonpanoja, tuoteistaminen helpottaa huomattavasti kokonaisuuden hallintaa. Vaikka toteutus ei seuraavassa projektissa esiinny täysin samana, yhtäläisyyksien perusteella voidaan hyödyntää aiemmin käytettyä tietokantapohjaista suunnittelumenetelmää uusien projektien kohdalla.

Tuotekehityksen avulla suunnittelun toimitusketjua pyritään kehittämään. Sähköjärjestelmien suunnittelussa tietokantapohjainen suunnittelu perustuu modulaaristen konfiguraatioiden lisäämiseen projektisuunnittelussa. Projektituotteen tuoterakenne muodostuu, kun projektiin sisällytetään komponentteja tai osakokonaisuuksia ja näiden välille luodaan fyysisiä tai toiminnallisia yhteyksiä. Koska kokoonpanon suunnittelu ja dokumentointi kuvaavat komponenttien ja osajärjestelmien kytkeytymistä toisiinsa sekä fyysisesti että toimintojen osalta, voidaan suunnittelutyökaluilla hallita samalla tuoterakenteita. Tuoterakenteen muodostamisessa hyödynnetään vakioituja suunnitelmia enimmäkseen valintaoperaatioilla kautta ja niiden lisäksi käytetään yksinkertaisia konfiguraatioita ja parametrisointia. Vakioituja suunnitelmia käytetään sekä tuotteen ja osakokonaisuuksien muodostamisessa että tuotealustoina. Konfiguraatioita käytetään mitoitusparametrien ja osakokonaisuuden tunnistetietojen syöttämiseen valmiisiin alustoihin. Suunnittelulla on käytössään tarvittavat työkalut, jotka mahdollistavat vakioiduista attribuutein kuvatuista kokonaisuuksista kasattavan tuotteen suunnittelun. Suunnittelun ja käytössä olevien työkalujen tarjoamia resursseja tulisi hyödyntää tehokkaammin modulaaristen kokonaisuuksien hallinnassa.



Suunnittelutyökalujen ominaisuuksien käyttöä voidaan kehittää siten että suunnittelu hallitsee projektin osakokonaisuuksien määrittelyjä, jolloin vältetään toisiinsa liittyvän tiedon ylläpitoa erillisissä tiedonhallintajärjestelmissä. Suunnittelun käytössä olevaan komponenttitietokannan tietoja pidetään yllä, jotta suunnittelun tekemiä määritelmiä voidaan hyödyntää muiden osapuolten toiminnassa. Tähän tarvitaan komponenttitietokannan hallintamenetelmiä, joiden ylläpito ei aiheuta ongelmia.

Suunnittelun muodostamista tuoterakenteista halutaan tietoja sekä ERP-järjestelmään että myynnin suorittamaan tuotteen hinnoitteluun. Myynti perustaa tuoterakenteen ERP-järjestelmään ja osto hallitsee komponenttitilaukset sen kautta. Suunnittelun tarjoamat komponenttiedot pitää olla myynnin helposti käytettäviä. Suunnittelulla ei ole suoraa rajapintaa ERP-järjestelmään, mutta suunnittelu voi yhtenäistää tarjottavan tiedon sisältöä ja muotoa ERP-järjestelmän vaatimiin tietoihin. Mikäli komponenttiedot ovat riittävän yhtenäiset, myynti voi kääntää tiedot sujuvasti ERP-järjestelmän kautta ostolle. Tietokannan komponenttietoihin lisätään yrityksen sisäinen komponentin ERP-tunnus, joka mahdollistaa tiedon siirtämisen muihin järjestelmiin.

#### **4.1.3 Tuotanto- ja toimitusprosessi**

Toimitusprosessin tehokkuus perustuu erityisesti yksittäisten toimintojen suorittamiseen, mutta myös tiedonsiirtoon sekä sen sisältöön. Mikäli edellä mainituissa tekijöissä esiintyy epäselvyyksiä tai puutteita, se vaikuttaa pahimmassa tapauksessa kaikkien osapuolten toimintaan. Suunnittelun tehtävä on huolehtia että tuotannolla on riittävät projektiin liittyvät tekniset tiedot.

Kokonaistoimitusajan lyhentäminen edellyttää sujuvaa siirtymistä projektin vaiheiden välillä. Tuotekehitystyöllä voidaan selkeyttää yrityksen sisäistä tuotetietojen hallintaa ja tuotteiden tarjontaa asiakkaille. Tuotteistuksessa huomioidaan rajapinnat ja pyritään kehittämään tiedonsiirtoa osapuolten välillä. Toimitusprosessin vaiheiden suorittaminen limittäin on mahdollista silloin, kun tiedonsiirto toimii osapuolten välillä. Kun suunnittelun vaiheet hallitaan aikataulullisesti hyvin, voidaan tuotannon aloitus ja komponenttihankinnat ajoittaa toimituksen kannalta mahdollisimman sopivaan projektin vaiheeseen. Tällä lyhennetään kalliiden komponenttien varastointiaikaa, mutta pyritään pitämään valmistusprosessi jatkuvasti toiminnassa. Projektin aikana suunnitelmiin tulleet muutokset saadaan nopeasti tuotannon tietoon, kun tiedonkulun odotusaika pidetään lyhyenä. Projektiaineiston tulee olla sekä myynnin, tuotannon että suunnittelun tavoitettavissa.

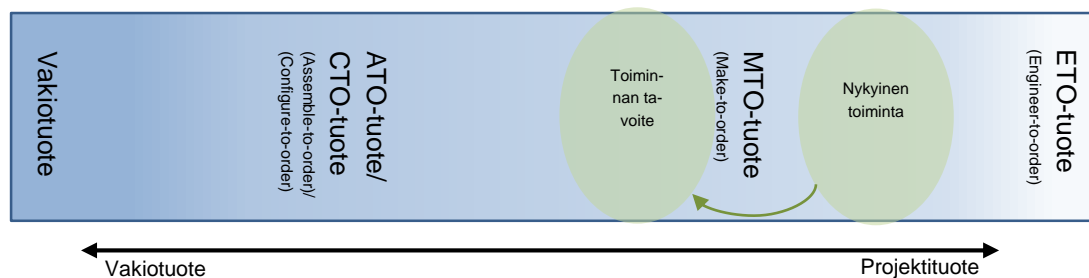
Suunnittelun valmistumisella on suuri vaikutus tuotantoprosessin alkuun saattamiseen sekä läpivientiin ongelmitta. Tuotanto voidaan suorittaa hallitusti suunnitelman mukaan, kun tarkat osakokoonpanosuunnitelmat viimeistellään suunnitteluvaiheessa. Vakioidut suunnitelmat takaavat tuotannolle tarjottavien suunnitelmien toimivuuden ja nopean valmistumisen. Suunnittelutyön onnistuminen ja selkeästi hallittavien toteutusmenetelmien

käyttö helpottaa tuotannon suorittamista. Komponenttien määrittely voidaan suorittaa aikaisessa vaiheessa projektia ja suunnitelmat ovat pitkälle valmiita tuotannon alkaessa.

Komponenttihankinnat ovat usein kriittisiä projektin aikataulun kannalta. Vakioitujen kokoonpanojen mukaiset ostotoiminnot tuovat varmuutta komponenttihankintoihin ja helpottavat oston reagointia. Ostotoiminnan kannalta hankalia toimintoja vältetään, kun projektin aikana tulevat muutokset karsitaan pois.

Projektoinnissa hyödynnettävän hiljaisen tiedon ja tekijöiden osaamisen sijaan tulee kehittää vakioituja dokumentoituja kokoonpanosuunnitelmia ja konfiguraatioita, jotka parantavat toiminnan varmuutta pitkällä aikavälillä. Tuotteistaminen tukee vakioitujen kokoonpanomenetelmien ja -suunnitelmien kehitystä tuotannon käyttöön. Tuotteen laatua voidaan kehittää valmiiden suunnitelmien jatkuvalla kehitystyöllä. Vakioratkaisujen toimivuutta analysoidaan normaalin toiminnan kautta ja kehitystyötä jatketaan uusien projektien kohdalla. Projektin viimeistelyssä huomioidaan suunnitelmien hyödyntäminen tulevissa vastaavissa projekteissa.

## 4.2 Tuotekehitystyö



**Kuva 19: Tuotteistamisen vaikutus toimitusketjuun.**

Tuotekehitystyössä pohditaan tuotteistamista ja konfiguroitavia tuoterakenteita keskus-suunnitteluun. Luvussa esitellään potentiaalisia tapoja toteuttaa keskusvalmistuksen projektituotteiden räätälöintiä vakioiduin menetelmin.

### 4.2.1 Suunnittelun näkökulmat tuoterakenteeseen

Domain-teorian mukaan tuoterakenteen kuvaus voi perustua toimintoihin, osakokonaisuuksiin, elimiin tai niiden yhdistelmiin, jolloin tuote sisältää useita erilaisia tuoterakenteen kuvauksia. Toiminto on tapahtumasarja, joka toteutuu määrätyillä systeemin input-ehtoilla. Elin taas suorittaa määrätyn operaation, kun sille annetaan ohjaus. Osakokonaisuuksiin perustuvassa tuoterakenteessa käsitellään tuotteen fyysisiä ominaisuuksia.

Suunnittelussa tarkastellaan tuotetta sekä toiminnallisesta että osakokonaisuuksiin perustuvasta näkökulmasta. Kun muodostetaan tuoterakennetta perustuen toimintoihin, tuot-

teeseen voidaan sisällyttää määrätyillä ehdoilla toteutuvia toiminnallisuuksia. Toiminnallisuuden lisäys voi tuoda tuotteeseen komponentteja, moduuleja, kytkentöjä, ohjelmointeja tai input- ja output-ehtoja, joilla toiminta toteutetaan. Osakokonaisuuksiin perustuva tuoterakenne kuvaa tuotteeseen sisältyvät osat ja osakokonaisuudet. Osien kautta voi muodostaa toiminnallisuuksia tai ne voivat olla lisävarusteita ilman toiminnallista vaikutusta.

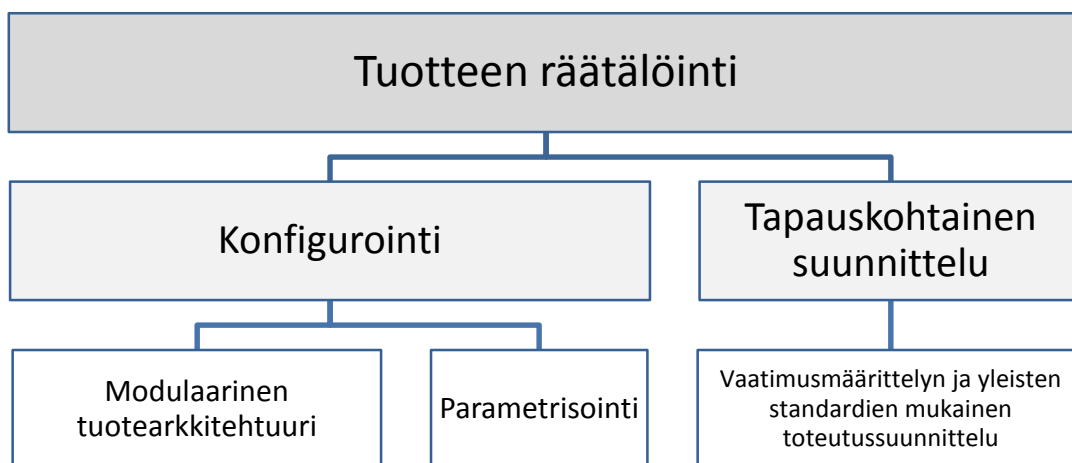
Toimintoihin perustuvan tuoterakenteen kuvaus tarkoittaa sähkösuunnittelussa piirikaavioesitystä. Piirikaaviosta voidaan tunnistaa järjestelmän suorittamat operaatiot määrätyillä input-ehdoilla ja toimintojen kytkeytyminen toisiinsa. Sähkökeskuksessa komponentin sisällyttäminen piirikaavioon on toiminnalliseen ja osakokonaisuuteen perustuvan tuoterakenteen yhdistelmän muodostamista. Pelkän toiminnallisuuden lisääminen tarkoittaa yleensä kytkentöjen lisäämistä, joilla saadaan toiminnallisia lisäyksiä.

Kun tuoterakenne muodostetaan komponenttien ja fyysisten osakokonaisuuksien pohjalta, pienet toiminnalliset erot eivät välttämättä esiinny tuoterakenteessa. Sähkösuunnittelussa osakokonaisuuksiin perustuvaa tuoterakenne esitetään layout-dokumenteilla, joista nähdään vain moduulien ja yksittäisten komponenttien sijainnit. Pelkkä osakokonaisuuksiin perustuva lisäys voi tarkoittaa suojausta ja muita tuotteen fyysisten ominaisuuksien varustelua, jotka esitetään vain layout- ja rakennekuvissa tai osaluettelossa.

Keskuksen toiminnallisuuksiin perustuvan tuoterakenteen suunnittelu edellyttää usein myös lopputuotteen ominaisuuksien tuntemista. Toimintojen määrittely täytyy olla selkeästi kuvattavissa, johon tarvitaan yksityiskohtaista tietoa kytkettävän prosessin input- ja output-vaatimuksista. Uusien toiminnallisten osakokonaisuuksien kehittäminen vaatii aina tapauskohtaista suunnittelutyötä. Osakokonaisuuksiin perustuvasta tuoterakenteen näkökulmasta tuote on selkeä muodostaa myyntiprosessin nopeassa määrittelyssä. Molemmat näkökulmat on huomioitava kehitystyössä.

#### **4.2.2 Työssä käytettävät tuotteen räätälöintimenetelmät**

Räätälöitäviin projektituotteisiin sisältyy usein tapauskohtaisesti suunniteltavia kokonaisuuksia. Tuote voi olla räätälöitävissä vakioiduista suunnitelmista tai alustan päälle tehtävästä tapauskohtaisesta suunnittelusta. Näin ollen räätälöinti jakautuu konfiguroinnin ja tapauskohtaisen suunnittelun välille (Kuva 20). Vakioidut suunnittelut voidaan käsittää moduuleina tai yksittäisinä komponentteina. Tuotteen suunnittelussa konfigurointi toimii räätälöinnin työkaluna ja modulointi on konfiguroinnin menetelmä (Kuva 20). Moduulien rinnalla tuotteeseen voidaan valita komponentteja, joita ei käsitetä moduuleina. Modulaa-risen konfiguroinnin tukena voidaan hyödyntää parametrisointia, jolloin samaa komponenttia säädetään toimivaksi eri toiminta-alueilla.



**Kuva 20: Tuotteen räätälöinti jaettuna konfigurointiin ja tapauskohtaiseen suunnitteluun.**

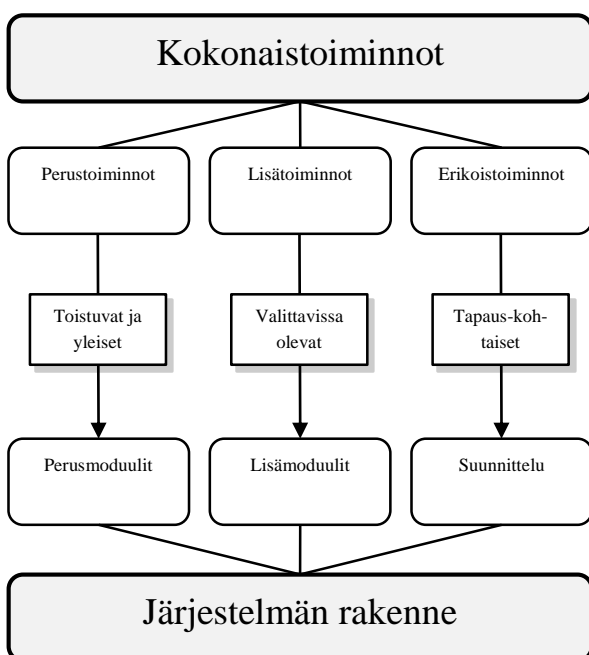
Toimitusprosessia selkeyttää, kun tuotteen räätälöinti tehdään modulaaristen vakioitujen konfiguraatioiden ja parametrisoinnin avulla. Mitä enemmän tuotteen räätälöinti painottuu konfigurointiin tapauskohtaisen suunnittelun sijaan, sitä enemmän käytetään vakioituja toteutusmenetelmiä. Vaikka moduloinnilla voidaan selkeyttää konfiguraatioita, konfigurointimahdollisuudet voivat vähentyä mitä karkeammin konfiguraatiot luokitellaan moduuleihin. Tuoterakenne on mahdollista generoida konfiguraatioiden avulla, kun tuoterakenteiden mukainen tietorakenne on määritelty. Tuoterakenteiden hallinnan tulisi liittyä tunnistettuihin tuoterakenteisiin. Tuoterakenteiden tunnistaminen ja selkeä suunnittelu vaikuttaa tuotetietojenhallinnan selkeyteen merkittävästi.

Konfiguraatiot eivät sovellu monimutkaisille tuoterakenteille, kun tuotteen menekki on pieni. Kalliiden tuotteiden kohdalla, joiden suunnitteluun sisältyy riskejä, voidaan myös harkita jatkuvan projektikohtaisen suunnittelun jatkamista konfiguroinnin sijaan. Myös pitkälle optimoitu tuoterakenne joudutaan usein räätälöimään projektikohtaisesti tai konfiguraatioiden määrä voi kasvaa vaikeasti hallittavaksi. Näissä tapauksissa tehdään päätös, ettei käytetä konfiguroitavaa tuoterakennetta.

Tuotteistaminen voidaan toteuttaa tuoteryhmille, joissa oletetaan esiintyvän vähän projektikohtaisia variaatioita. Tämän vuoksi täytyy vakioidut ratkaisut luokitella projektityypeittäin tai asiakaskohtaisesti konfiguraatioiden määrän hallitsemiseksi. Keskuksen osajärjestelmien vakiointi on mahdollista, kun toimitetaan toistuvasti samankaltaisia projekteja. Asiakaskohtaisessa toiminnassa voidaan toistaa aiemmissa projekteissa toteutettuja suunnitelmia. Kun asiakkaan toimittama lähtöaineisto sisältää helposti hyödynnettäviä modulaaristen konfiguraatioiden attribuutteja, voidaan asiakaskohtaisia vakioituja suunnitelmia hyödyntää helposti projektihistoriasta. Attribuutteja voidaan hyödyntää silloin kun tunnetaan asiakkaalle toimitettavan tuotteen tyypilliset toteutustavat. Sähkökeskuksen voivat sisältää myös yleisesti käytettäviä osakokonaisuuksien toteutustapoja, joita ei tarvitse sitoa asiakaskohtaiseen toimintaan.

### 4.2.3 Syöttökentän modulointi

Monimutkaiset kokonaisuudet voidaan räätälöidä alustan päälle käyttäen apuna modulaarisia konfiguraatioita. Alusta voidaan räätälöidä projektin tarpeita vastaavaksi ja tapauskohtaiset osakokonaisuudet suunnitellaan alustan päälle. Toiminnoista muodostetaan modulaarisia kokonaisuusia suunnitteluun, joita otetaan käyttöön tarvittaessa valintaoperaatioilla. Nopeasti rakennetta tehtäessä voidaan edetä ennalta tehtyjen rakennemääritelmien mukaan (Kuva 21). Luokittelu voidaan jakaa karkeasti perusmoduuleihin, valittavissa oleviin toimintoihin sekä erikoistoimintoihin, jotka sisältävät tuotekohtaista suunnittelua.



**Kuva 21: Toimintoihin perustuvien toimintomoduurien ja erikoissuunnittelun sisällyttäminen kokonaisuuteen.**

Keskus sisältää varsinkin syöttökentän osalta selkeitä toimintoja, joista osa esiintyy tyypillisesti aina rakenteessa ja osa satunnaisesti projektin vaatimusten mukaan. Keskuksen yleiset toiminnalliset ja mekaaniset vaatimuksen määrittävät syöttökentän kokoonpanon. Projektiympäristö tuo muilta osin helposti vakioitavien moduurien lisäksi täysin tapauskohtaisia suunnitelmia. Vakiomoduuleista rakennettu pohja on mahdollista räätälöidä projektin tarpeisiin lisäämällä tapauskohtaista suunnittelua alustan päälle.

Perusmoduulit kuten pääkatkasiija sisältyvät syöttöosion tyyppin valinnassa automaattisesti tuoterakenteeseen. Sen lisäksi voidaan rakenteeseen valita toimintoja, jotka ovat rakenteelle tyypillisiä vakiokokoonpanoja, mutta eivät kaikissa tapauksissa tarpeellisia. Valinnaisia ovat esimerkiksi tarvittavat mittauslaitteet, maadoituskytkin ja eri ohjausjännitteiden muodostamiseen ja jakeluun tarvittavat laitteet ja komponentit. Pääkatkaisijan koko

määritellään nimellisvirran perusteella, jonka perusteella määräytyy myös katkaisijan tilavaatimus. Apulaiteille tarvittava tilavaatimus määritellään syöttökenttään sisällytettävälle toiminnoille tehtyjen määritelmien perusteella.

#### 4.2.4 Vakioidut modulaariset osajärjestelmä-layoutit

Moduloinnilla muodostetaan selkeitä yleisesti käytettyjä toiminnallisia osakokonaisuuksia, joita voidaan hyödyntää konfiguraatioissa. Parhaassa tapauksessa toiminnalliset kokonaisuudet ovat samalla fyysisiä kokonaisuuksia. Moduuli on itsenäinen osajärjestelmä, joka suorittaa määrätyn operaation. Moduuli sisältää selkeät input- ja output-vaatimukset ja liitospinnan muuhun tuotteen rakenteeseen.

Keskuksessa yksikkölähdön kennokohtainen kokoonpano täyttää sekä fyysiset ja että toiminnalliset moduulin määritelmät. Itsenäisesti toimiva osajärjestelmä ohjaa yksittäisen lähdön sähkönsyöttöä. Sisäänmenona tarvitaan osajärjestelmän sähkönsyöttö ja määritellyt ehdot lähdön ohjaukselle. Kennokohtaisten osakokoonpanojen käsittäminen fyysisinä moduuleina soveltuu jo valmiiksi modulaarisen keskusrakenteen puolesta. Modulaarisuuden haittapuolet kuten ongelmat fyysisten mittojen, suorituskyvyn tai käytännöllisyyden kanssa eivät vaikuta yhtä vahvasti pienempien osakokonaisuuksien suunnitteluun. Yksikkölähtöjen modulointi on kannattavaa myös tuotannollisesta näkökulmasta. Yksittäisiin tiloihin osastoidut kokoonpanot liitetään valmiiseen keskusrunkoon osakokoonpanon ollessa valmis. Osajärjestelmän asennuslevyn komponenttilayout on erillinen suunniteltava kokonaisuus, jonka määrittelee osajärjestelmän tilavaatimus ja input- ja output-liitynnät. Kokoonpanomenetelmien muutostarve on usein pieni, joten menetelmien vakiointi ei vaadi jatkuvaa suunnitelmien muuttamista.

Kennokohtaisten yksikkölähtöjen kokoonpanoista pyritään muodostamaan tuotteiden moduloituja osajärjestelmiä. Yksikkölähdöille ominaiset toiminnot voidaan luokitella eri osajärjestelmätyyppeihin, joiden määrä on hallittavissa. Yksikkölähtöjen kokoonpanot halutaan tehdä erillisenä työvaiheena. Keskusrungon kokoonpanossa täytyy huomioida osajärjestelmien liitynnät keskusrunkoon ja keskuksen ulkopuolisen kaapeloinnin asennettavuus.

Osajärjestelmien layout-valikoiman ylin taso voidaan luokitella yleisesti käytettyihin tai asiakaskohtaisiin osajärjestelmätyyppeihin. Jotkin osajärjestelmät ovat toteutustavoiltaan enemmän asiakaskohtaisia ja toiset taas täysin yleisesti käytettäviä kokoonpanoja. Luokittelun alemmalta tasolta valitaan yksikkölähdön tyyppi, joita ovat esimerkiksi suorat moottorilähdöt, taajuusmuuttajalähdöt ja syöttölaitteet. Mikäli luodaan ensin tyyppipiirikaavio, valitaan osakokonaisuuden tarkempi toiminnallinen kokonaisuus, joka sisältää pienet lisätoiminnot sekä osajärjestelmän mitoitus. Valinnat määrittelevät samalla osajärjestelmään kuuluvat komponentit, joita vastaava osajärjestelmän komponenttitason layout voidaan valita tietokannasta. Osajärjestelmä-layouttien luokittelun alin taso perus-

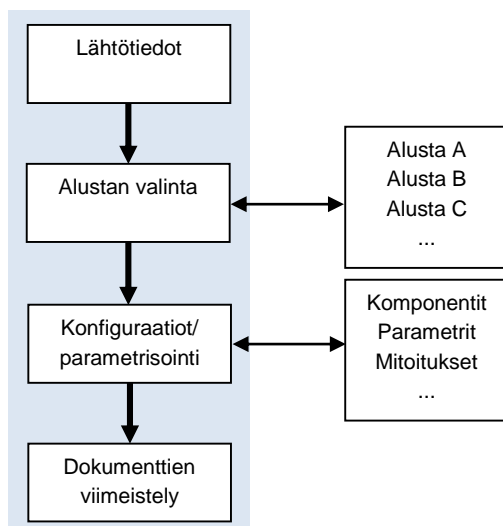
tuu komponenttien mitoitukseen. Osajärjestelmä-layoutit voivat olla valmiita kokoonpanosuunnitelmia osajärjestelmä-tyyppin ja mitoituksen mukaan. Pieniä variaatioita sisältävissä osakokonaisuuksissa kokoonpanomenetelmät ovat vakioituja, mutta komponenttilayoutin tarkat komponenttivalinnat viimeistellään projektikohtaisesti.

Tarjousvaiheeseen riittävät tiedot osajärjestelmän tilavaatimuksesta ja komponenttivalinnoista. Helpoin tapa tehdä alustavaa layout-suunnittelua, on määrittää runkorakenne asiakkaan teknisen erittelyn perusteella ja keskuksen mitat osakokonaisuuksille tarvittavien tilavarausten perusteella. Modulaarinen keskusrakenne mahdollistaa keskuksien osajärjestelmien tilavaatimusten määrittelyn komponenttien tilantarpeen mukaan. Osajärjestelmien tilavaatimukselle voidaan tehdä variantteja, joissa tilavaatimuksen pysty- ja vaakamitat ovat muuttuvia vaihtoehtoisissa tilan mitoituksissa ja osajärjestelmien sijoittelu voidaan tehdä optimaalisesti keskusrakenteeseen sopivaksi. Myös komponenttitiedot voidaan erityyppisille osajärjestelmille määrittää valmiiksi osaluettelomuodossa, jolloin myynti voi kerätä komponenttitiedot määrittäen attribuuttien perusteella. Varsinainen komponenttitason layout-dokumentointi tehdään vasta suunnitteluprosessin aikana, ellei tuote sisällä suunnittelun kannalta kriittisiä osuuksia.

#### **4.2.5 Piirikaavioiden konfigurointi**

Piirikaavion konfiguroinnissa voidaan hyödyntää valmiita alustoja, generointia konfiguraatioiden avulla, parametrisointia tai näiden yhdistelmiä. Alustan valinnassa käytetään tyyppipiirikaavioita ja piirikaaviopohjia. Generointi konfiguraatioiden avulla tarkoittaa toiminnallisten piirikaaviomoduulien tai -osien kytkemistä toisiinsa. Parametrisointi tarkoittaa komponenttivalintoja ja mitoituksia toiminnallisen esityksen taustalle ja esiintyvät vain lukuarvoina ja teksteinä dokumenteissa.

Osajärjestelmien piirikaaviosuunnittelun toteutusvaihetta kuvaa prosessi (Kuva 22), jossa valitaan ensin osakokoonpanon alusta, jonka päälle tehdään konfiguraatiot ja parametrisointi. Alusta kuvaa tyyppidokumenttia ja konfigurointi ja parametrisointi komponenttien valintaa, mitoitusta ja osajärjestelmälle ominaisten tunnistetietojen syöttämistä.



**Kuva 22: Konfiguraatioihin perustuva sähköjärjestelmän dokumentaation tietokantapohjainen suunnittelu.**

Toiminnallisten konfiguraatioiden kehittäminen piirikaaviosuunnittelussa on useissa tapauksissa sekä teknisesti että myös systeemin kannalta haastavaa toteuttaa. Mikäli konfiguraatioilla generoidaan piirikaavioesityksiä, täytyy tuntea mahdolliset tuotekonfiguraatiot ja määritellä niiden valintaoperaatioille selkeät kuvaukset. Konfiguroinnin pohjana tulisi toimia tuotteen ominaisuudet eikä pelkästään suunnitteludokumenttien muodostamista helpottavat toimenpiteet.

Prosessissa konfiguraatioiden ja parametriseinnin kehittämien vähentää alustojen määrää, kun samasta alustasta voidaan muunnella useampaa osajärjestelmätyyppiä kuvaava esitys. Toisaalta konfiguraatioiden määrän lisääminen tekee systeemin toteutuksesta monimutkaisemman. Alustojen määrä ja luokittelu täytyy olla hallittavissa ja vastaavasti systeemillä saavutettavien hyötyjen täytyy kattaa sen suunnitteluun käytetyn työn. Moduulin parametriseinnin etuna on että samaa moduulia voidaan hyödyntää laajemmin. Parametriseintiin on syytä painottaa silloin, kun parametrit ovat helposti muunneltavia ja ilman niitä valmiiden alustojen määrä kasvaa vaikeasti hallittavaksi. Mitä laajemman kokonaisuuden voi hallita yhdellä parametrilla, sitä nopeammin ja selkeämmin prosessi voidaan suorittaa.

Usein osajärjestelmän komponenttien toiminnot liittyvät toisiinsa, joten voidaan tutkia toteutuuko tuoterakenteelle parametrisein moduulin määritelmä. Kun yksi ja sama komponentti on säädettävissä toimimaan eri toimintapisteissä, voidaan puhua parametriseinasta komponentista. Parametriseinassa moduulissa koko moduulin toimintapiste on säädettävissä. Parametriseinilla moduuleilla voidaan vähentää yksittäisten osajärjestelmäsuunnittelien määrää, joka selkeyttää konfigurointia.

Sähkösuunnittelun komponenttien toiminnallisuutta kuvaavat standardisymbolit eivät ole riippuvaisia komponentin valmistajasta tai mitoituksista, vaan symbolit ovat usein para-



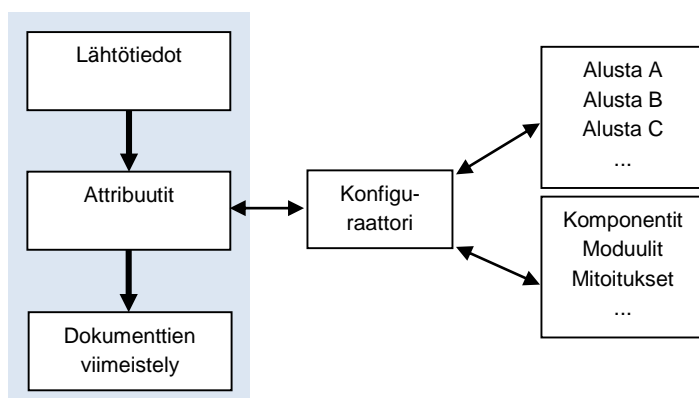
metrisoitavissa siten että niille voidaan valita erilaisia arvoja. Parametrisia konfiguraatioita ovat komponenttien mitoitus, kun osajärjestelmän toiminnallinen esitys pysyy samana. Kun moduuli koostuu useammasta komponentista, joiden välillä on yhteys, voidaan käyttää parametrisia moduuleita. Tyypillisesti sähkösuunnittelun dokumentaatioissa saman osajärjestelmän yhteen kytketyt komponentit ovat parametrisia osakokonaisuuksia, joissa sama parametri vaikuttaa useamman kuin yhden komponentin mitoitukseen. Osajärjestelmän parametrisointi saattaa sisältää useamman kuin yhden parametrin.

Tyypipiirikaavioiden ylemmän tason luokittelu perustuu asiakassegmenttiin tai tuoter ryhmään. Kun kehitystyön asiakassegmentin valinnassa ja rajauksessa on onnistuttu hyvin, on edellytykset painottaa prosessia alustan valintaan (Kuva 22). Alustan valinta voidaan suorittaa nopealla valintaoperaatiolla ja konfigurointiosuus sisältää vain dokumentaation parametrisoinnin.

Yksikkölähdöissä lähdön tyyppi määrää tyypipiirikaavion valinnan. Alustan valinta tehdään mahdollisimman selkeällä valintaoperaatiolla alustojen luokittelun perusteella. Parhaassa tapauksessa tyypipiirikaavio löytyy täysin valmiina tietokannasta sisältäen vain muunneltavat parametrit. Syötettävän prosessilaitteen vaatima sähköteho on parametri, joka määrittelee osajärjestelmän päävirtakomponenttien, kaapeloinnin ja liityntöjen mitoituksen. Lähdön kuvaus, jonka perusteella se voidaan yksilöidä keskuksesta, on erikseen tyypipiirikaavioon syötettävä ennalta määriteltä tieto. Tiedon esitystapa suunnitteluun tietokenttänä tyypipiirikaaviopohjaan.

#### 4.2.6 Konfiguraattori

Suunnitteluprosessissa konfiguraatioiden hallintaa voidaan parantaa kehittämällä konfiguraattori käyttäjän ja järjestelmän väliseksi rajapinnaksi (Kuva 23). Konfiguraattorin tuomana etuna pidetään kompleksisten kokonaisuuksien helpompaa hallittavuutta. Lisäksi sen käyttö ei vaadi suunnittelun ulkopuolisilta osapuolilta vahvaa teknistä taustaa. Konfiguraattorin tarkoitus on nopeuttaa tuoterakenteen määrittelyä.



**Kuva 23: Konfiguraattorin lisääminen tietokantapohjaiseen suunnitteluprosessiin.**

Suunnittelutoiminnassa usein toistettavaa yksinkertaista manuaalista konfigurointia voidaan korvata automaatiolla. Sähköjärjestelmät ovat usein kompleksisia sekä rakenteeltaan että toiminnoiltaan ja tuotteen tilankäyttö tulee olla samalla optimoitu. Vaikka konfiguraattori helpottaa kompleksisuuden hallintaa, vaaditaan erityisiä resursseja konfiguraattorin suunnitteluun ja toteutukseen. Monimutkaisen systeemin ylläpito vaatii enemmän resursseja, joten niitä on suunnitteluvaiheessa verrattava konfiguraattorin avulla saavutettaviin hyötyihin. Konfiguraattorin suunnittelu vaatii selkeät konfiguraatioiden määrittelyt, joka tukee konfiguraattorin suunnittelua.

Konfiguraattorin suunnittelun edellytyksenä on että konfiguraatiot on määritelty täysin ennen konfiguraattorin suunnittelua. Tarvitaan käsitys attribuuttien ja tietokannan ympärille muodostuvasta konfiguraatioita kuvaavasta tietorakenteesta, joka määrittelee konfiguraattorin toiminnan. Konfiguraattorin käyttöliittymän tulee olla selvästi helpommin hallittavissa, kuin manuaalista konfiguraatioiden tekeminen, jotta systeemillä voidaan saavuttaa halutut tulokset.

Ideaalitapauksessa konfiguraattorin avulla voidaan tehdä valintaoperaatioita ja parametrisointeja, jotka generoivat suunnittelun dokumentteja automaattisesti. Konfiguraattorin käyttöliittymässä konfiguraatiot ovat selkeästi tunnistettavia tuotteen ominaisuuksia, jotka voidaan ilmaista selkeällä attribuutilla käyttöliittymän kautta. Attribuutit on tunnistettavissa suunnittelun lähtötiedoista. Tyypipiirikaavioihin voidaan muodostaa osajärjestelmäkohtaisia data-kenttiä, jotka täydennetään dokumenttikokonaisuuden integroinnissa. Osajärjestelmään liittyvä tieto on usein selkeässä muodossa ja syötettävissä suunnitteludokumentteihin yksinkertaisilla toiminnoilla. Konfiguraattori helpottaa parametrisoinnin ja tyyppidokumentaation valinnan avulla dokumenttikokonaisuuden hallintaa.

Kun projekti sisältää vähän erityyppisiä yksikkölähtiä verrattuna lähtöjen määrään keskuksessa, saadaan konfiguraattorin suunnittelusta suurin hyöty. Tällöin konfiguraattorin virittäminen projektin suunnitteluun vaatii vähemmän työtä. Konfiguraattorin kautta tehtävä parametrisointi on käyttöliittymän avulla liitettävissä taulukoituuihin suunnittelun lähtötietoihin. Nopea suunnitteludokumenttien hallinta tehostaa suunnitteluprosessia ja vähentää huomattavasti toistuvaa työtä suurissa projekteissa. Verrattuna konfiguraattorin suunnitteluun kuluvaan aikaan konfiguraattoria ei kannata suunnitella erittäin paljon varioituvien kokonaisuuksien hallintaan. Lisäksi konfiguraatioiden ja konfiguraattorin ylläpito vaatii osaamista ja resursseja. Konfiguraattori sopii paremmin tuotteille, joiden konfiguraatioiden hallintaan ei tule muutoksia. Dokumentin esitystapaan tulevat päivitykset voidaan hallita tietokannasta, kun päivitykset eivät vaikuta konfiguraattorin toimintaan.

### 4.3 Kehitysprojektin suunnittelu ja toteutus asiakaskohtaisessa toiminnassa

Toiminnan kannalta on erittäin tärkeää huomioida tuotteistamisen asiakaslähtöiset syyt vähintäänkin yrityslähtöisten syiden lisäksi. Asiakaslähtöistä toimintaa kehitetään ja ylläpidetään tarjoamalla asiakkaille laadukasta ja nopeaa palvelua. Asiakaskohtaisten tuotteiden hallinta nopeuttaa toimitusprosessin etenemistä, jolloin asiakkaan kannattaa tukeutua keskusvalmistajan suunnitteluun, joka voi vaikuttaa toimitussopimusten syntymiseen asiakkaan kanssa. Tällöin harkitaan toiminnan kehittämistä tärkeiden asiakkaiden kanssa yhteistyössä ja valikoidaan näin tuotekehitykselle otollisia kohderyhmiä.

Tuotekehitysprojekti sisältää sekä keskusvalmistukseen liittyvää teknistä suunnittelua että systeemisuunnittelun projektinhallintaan perustuvaa suunnittelua. Tuotteistusprojekti täytyy suunnitella ja toteuttaa alusta loppuun huolella. Vastaavien sistemien toteutuksille teollisuudessa on tiedossa potentiaalisia menetelmiä ja suunnittelun työkaluja, joiden sopivuutta prosessikeskusten projektikohtaiseen suunnitteluun tutkitaan.

Tarkkaan harkittu kehitysprojekti vaatii konseptin kehitysvaiheen, jossa pohditaan systeemin toteutuksen tarvetta ja siitä saatavia hyötyjä pidemmällä aikavälillä. Konseptin kehitysvaiheessa systeemin toteutukseen riittää tarve tehostaa suunnittelutoimintaa. Tarve voi tulla myös asiakkaan puolelta, mutta on todennäköisempää että analyysi tehdään oman toiminnan tehostamisen kautta. Asiakaslähtöiset syyt ja niiden huomioiminen systeemin määrittelyssä on myös otettava esille heti kehitysvaiheen alussa. Alustava systeemin vaatimusmäärittely on hyvä tehdä tässä vaiheessa, koska seuraavat vaiheet liittyvät systeemin toteutukseen. Konseptin kehitysvaiheessa täytyy kuvata vaatimukset, joiden täyttäminen on kehitystyön tavoite. Tässä vaiheessa tehdään tarvittaessa yhteistyötä asiakkaan kanssa vaatimusten selvittämiseksi ja ne huomioidaan myös seuraavissa vaiheissa.

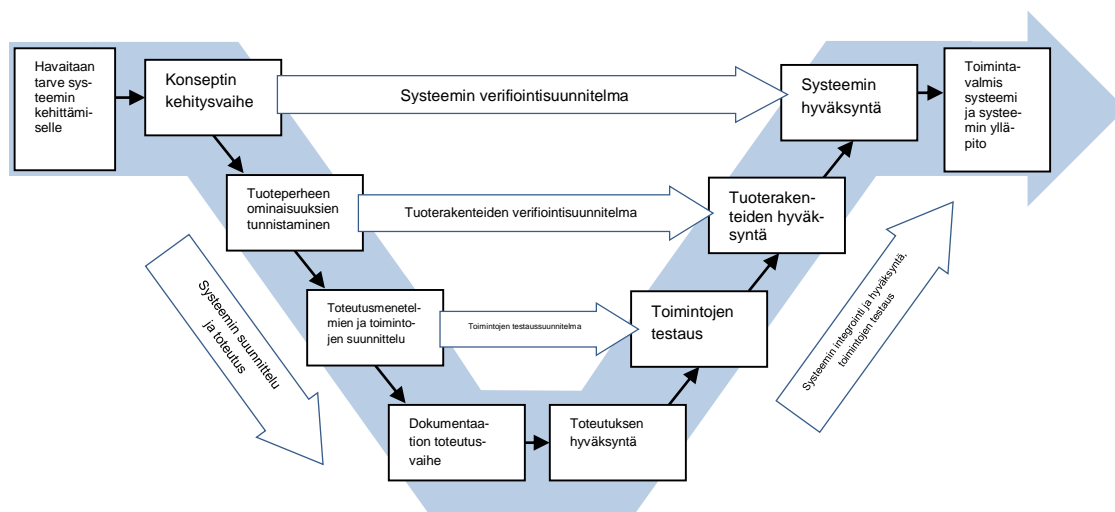
Konseptin kehitysvaihe sisältää analyysin, jossa on arvioitava projektihistorian ja nykyisen asiakaskohtaisen toiminnan perusteella tuotteiden oletettu tuotantomäärä. On selvítettävä hyötykö asiakas kehitystyöstä ja onko asiakas valmis sitoutumaan toimintaan tai olemaan mahdollisesti mukana kehitystyössä. On varmistettava että omat resurssit riittävät toiminnan kehittämiseen ja ylläpitoon. Tehtäviin tarvitaan vastuuhenkilöt, joilla on käytössään riittävät resurssit prosessin läpiviemiseksi. Konseptin kehitystyössä luodaan suunnitelma ja tehdään päätös prosessin etenemisestä seuraaviin vaiheisiin. Toimintavalmis systeemi vaatii tarvittavat testaustoimenpiteet. Riippuen tuotekehityksen kohderyhmästä tehdään konseptin kehitysvaiheessa systeemille validointisuunnitelma. Validointi perustuu suunnittelun alkuvaiheessa tehtyyn vaatimusmäärittelyyn. Konseptin kehitysvaiheen valmistelun tuloksena voidaan asiakkaalle ehdottaa toiminnan kehittämistä perustellusti pohjautuen käytössä oleviin resursseihin ja menetelmiin.

Suunnittelun kehitysvaiheessa on tärkeää huomioida vaatimukset, joita systeemin toiminnalle on edellisessä vaiheessa asetettu. Vain siten toteutusvaiheessa voidaan muodostaa kaikkia osapuolia tyydyttävä ratkaisu. Kehitystyössä analysoidaan tarkemmin tuoterakenteita ja tuotteen toiminnallisuuksia, joita tuotteelta vaaditaan. Sekä konseptin kehitysvaiheessa että suunnittelu kehitystyössä täytyy pohtia systeemin toteutettavuutta ja ylläpidettävyyttä perustuen tuotteen ominaisuuksiin. Kehitystyössä perehdytään menetelmiin ja työkaluihin, joilla toteutus tehdään. Kehitysvaiheessa voi tulla ilmi asioita, joita ei aiemmin ole huomioitu ja konseptin kehitystä on jatkettava näiltä osin.

Toteutusvaiheessa tehdään yksityiskohtaista suunnittelua sekä tuotteen että systeemin toteutuksen osalta. Tuotteen kaikki mahdollinen dokumentaatio on oltava valmiina ennen kuin systeemi voidaan asettaa toimintaan. Keskusvalmistuksen standardit asettavat tuotekehitykselle rajoittavia tekijöitä, jotka on huomioitava kaikissa suunnittelun elinkaaren vaiheissa. Myös systeemin toteutuksessa voi tulla ilmi asioita, jotka eivät toteudu ennalta suunnitellulla tavalla, jolloin voidaan joutua tekemään kompromisseja.

#### 4.3.1 Kehitysprojehtin kuvaus systemaattisen mallin avulla

Tietokantaan tehtävästä tyyppidokumentaatiosta muodostettavan projektikohtaisen dokumentaation tulee sisältää asiakkaan haluamat projektikohtaiset tiedot. Tämä täytyy huomioida ja osoittaa toteutusvaiheen suunnittelussa. Mikäli kehitystyön jokainen vaihe tehdään yhteistyössä asiakkaan kanssa ja asiakkaalta tulee saada hyväksyntä eri kehitysvaiheen suunnitelmille, systeemi kuvautuu V-mallin kaltaisena prosessina (Kuva 24). Systeemin lopullinen toimivuus osoitetaan kehitysprojehtin jälkeisessä suunnittelutoiminnassa. On todennäköistä että kehitystyötä joudutaan jatkamaan toiminnan edetessä.



**Kuva 24:** Kehitysprojehtin kuvaus V-mallin avulla.

Kun systeemi ei ole toteutukseltaan monimutkainen ja testausvaiheessa arvioidaan vain tuotteeseen liittyvät suunnitelmat ja hyväksytään systeemin toimintaperiaatteet, kuvautuu V-mallin mukainen systeemi vesiputousmallina. Tällöin luotetaan omaan osaamiseen

eikä itse systeemin suunnitteluprosessi sisällä ongelmakohtia. Tällöin määrittelyn tulee olla selkeä ja toteutusmenetelmät hyvin hallussa.

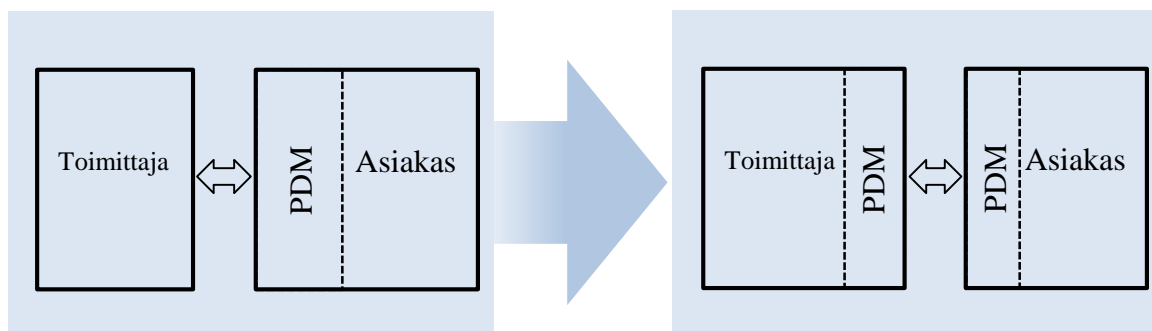
Mallin rakenteeseen vaikuttaa lisäksi tuotteistamisen aste sekä konfiguroitavuuden kehittäminen. Monimutkaisille järjestelmille V-malli testauksineen on toimiva vaihtoehto, kun taas valmiiden pohjien ja dokumentoinnin osien luomiseen riittää vesiputousmallin mukainen päätöksenteko. Kun tuotteistamisen päätöksenteon jälkeen voidaan edetä suora- viivaisemmin, joten vesiputousmallin mukainen esitys on selkeämpi kuvaus prosessille.

### 4.3.2 Tuotetietojen hallinta

Tuotetietojen hallinnassa on tärkeää pohtia ensisijaisesti asiakkaan näkökulmaa tuotteen ominaisuuksiin ja tuoterakenteisiin. Mahdollisesti täytyy tuntea sähköistettävän prosessin toimintoja ja tässä asiakkaan tietämys tuotteen ominaisuuksista on tärkeässä roolissa.

Asiakas päättää suunnitteluvastuun jaon sen mukaan, missä kokee että suunnittelu on parasta toteuttaa kokonaistoiminnan kannalta. Asiakkaan kannalta tämä on tarkkaan harkittava prosessi. Ilman sähköjärjestelmätoimittajan laadukasta tuoterakenteen hallintaa ja mahdollisuutta tuotekehitysyhteistyölle asiakkaan ei välttämättä kannata ulkoistaa suunnittelua järjestelmän toimittajalle.

Asiakkaan lopputuotteiden ominaisuudet ja konfiguraatiot on ymmärrettävä hyvin, kun suunnitellaan konfiguraatioita sähköjärjestelmän osalta. Konfiguraatioiden tulisi perustua tuoteperheen ominaisuuksiin eikä pelkästään oman suunnittelutyön helpottamiseen, jotta tuotetiedot ovat yhtenäiset ja helposti ymmärrettävissä molemmille osapuolille. Tuotteistamisen periaate oli että asiakas tietää ennalta tuotteen sisällön.



**Kuva 25: Asiakassuhteessa tuotetietojen hallinnan siirtyminen palveluntarjoajalle.**

Mikäli asiakaskohtainen palvelu tuotteistetaan, edellyttää se tiivistä yhteistyötä asiakkaan kanssa oikeanlaisen asiakasrajapinnan muodostamiseksi. Oma toimiva systeemi täytyy pystyä myymään asiakkaalle siten että siitä saatavat hyödyt palvelevat molempia osapuolia. Tuotetiedon hallintaa (PDM) voidaan näin kopioida tai siirtää osittain keskustoimittajalle, jolloin tuotteiden rakenteet on paremmin hallittavissa. Toimimatonta tai kesken- eräistä systeemiä tai toimintamallia ei kannata tarjota asiakkaalle.

## 4.4 Kehitystoimenpiteiden seuraukset

Toimitusprosessin vaiheiden kehitystyöllä vaikutetaan olennaisesti suunnitteluprosessin tehokkuuteen läpimenoajan ja laadun osalta. Kriittisiltä osin valmistus voidaan aloittaa suunnittelun vaiheessa, jossa tuotannon ensimmäisissä vaiheissa tarvittavat tiedot ovat valmiina eikä suunnittelun eteneminen hidasta prosessin jatkumista tuotannon seuraaviin vaiheisiin. Hyvällä suunnittelulla voidaan vähentää tuotantoprosessin aikana tai sen jälkeen dokumentointiin tulevia muutoksia, jolloin valmiin tuotteen dokumentaatio saadaan toimitettua nopeasti asiakkaalle tuotteen valmistuttua. Tietojen ylläpitomenetelmien kehittäminen vaikuttaa suunnittelun tuottamien tuotetietojen laatuun.

Pitkän aikavälin toiminnassa suunnittelutoiminnan kehittäminen mahdollistaa tuotantomenetelmien kehittämisen vakioitujen ratkaisujen ympärille. Myös ostotoimenpiteitä voidaan helpottaa valmiiden toimivien suunnitelmien käytöllä. Edellytyksenä ovat hyvät suunnittelun resurssit, joita tukee valmis laadukas aineisto ja tuotekehityksen kautta vakioidut menetelmät.

Mitä enemmän keskustoimittaja pääsee vaikuttamaan suunnittelutyöhön, sitä paremmat mahdollisuudet saadaan toteuttaa kokonaisvaltainen toimitusprosessi omilla vakioituilla menetelmillä. Mikäli lähtötiedoissa esiintyy määrittelemättömiä osakokonaisuuksia, voidaan näitä täydentää omilla toteutusehdotuksilla ja epävarmoissa asioissa asiakas voi tukeutua keskusvalmistajan osaamiseen. Kaikissa tapauksissa projektikeskusten osakoonpanojen tuotteistamisen olennaisin hyöty saavutetaan suunnitteluprojektin hallinnassa ja sen toiminnan tehostamisessa. Yrityksen sisäinen toiminta tehostuu, kun voidaan siirtyä mahdollisimman sujuvasti uuteen projektiin palvellen asiakasta täysipainoisesti. Palvelun sujuvuudella on suuri merkitys asiakkaan mielipiteeseen keskusvalmistajan toiminnasta.

Tietokantapohjaisessa suunnittelussa on tutkittu tyyppipiirikaavioiden käsittämistä parametrisina moduuleina. Useimpia tyyppipiirikaavioita on mahdollista hallita parametrisena moduulina yksinkertaisilla toiminnoilla. Tyyppipiirikaavio ja parametrit määrittelevät osakokoonpanoon vaadittavat osat, joiden pohjalta voidaan tehdä tuotannon osaluettelo. Osaluettelo voidaan muotoilla muiden sidosryhmien tarpeita vastaavaksi ja komponenttietojen ylläpitoon on löydetty sopivia menetelmiä, joilla tarvittavien komponenttietojen lisääminen on mahdollista. Tavoitteen saavuttaminen edellytti suunnitteludokumenttien rakenteiden tunnistamista ja parametrisoinnin suunnittelua tyyppidokumentaatioon. Tyyppidokumentit täytyy suunnitella huolella ja dokumentteja tulee hallita pienempien kokonaisuuksien kautta, jotta muutostöiden tekeminen projektin edetessä on mahdollista. Parametrisen moduulin edellytyksenä on että parametrit on määritelty suunnitteluvaiheessa eikä niihin tule muutoksia suunnittelun myöhemmissä vaiheissa. Operaatioiden selkeys tarjoaa edellytykset konfiguraattorin suunnittelulla dokumentaation generointiin parametristen moduulien avulla.

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Projektitoimitusten suunnittelu ja toteuttaminen luo keskusvalmistajalle haasteita, mutta samalla myös runsaasti mahdollisuuksia toiminnan kehittämiseen. Kokonaisuudessa tämä diplomityö esittää kuvauksen ajattelutavalle ja menetelmille, joiden avulla tuotteen ja siihen liittyvän suunnittelutoiminnan kehitystä tehdään eri projektituoteryhmien kohdalla. Kehitys on kuitenkin jatkuva toimenpide ja esiintyy osana päivittäistä toimintaa.

### 5.1 Kehitystyön peruste

Syyt toiminnan kehittämiseksi voivat olla asiakas- tai yrityslähtöisiä. Asiakaslähtöiset syyt voivat perustua asiakkaiden tarpeen tyydyttämiseen, tarjonnan kehittämiseen tai asiakassuhteen ylläpitoon. Yrityslähtöiset syyt liittyvät yrityksen sisäisen toiminnan kehitystarpeisiin, joita ovat esimerkiksi logistiikka tai suunnittelun, valmistuksen ja myynnin tarpeet. Yrityslähtöisestä toiminnan kehitystyöstä ei ole asiakkaalle suoranaisesti muuten hyötyä kuin tuotteen toimitusajan lyhentäminen.

Luodun systeemin hyödyt voidaan saavuttaa tarjoamalla laadukasta tehokasta palvelua asiakkaan tarpeisiin. Hyvät asiakassuhteet parantavat kilpailuasemaa ja edesauttavat uusien toimitussopimusten syntymistä. Vaikka systeemin kehitystyö vaatii resursseja, toimintatapojen hyvä suunnittelu ja vakiointi mahdollistavat systeemin kopioimisen kohde-ryhmästä toiseen. Suurempi hyöty voidaan saavuttaa pitkän aikavälin toiminnassa, kun systeemin elinkaari on huomioitu systeemin suunnittelussa.

### 5.2 Systeemien visuaalinen kuvaus

Systemaattisen visuaalisen mallin käyttö kehitysprojektissa selkeyttää kokonaisprosessin hahmottamista. Kun tunnetaan prosessin vaiheet, voidaan asiakkaalle tarjota tapa, jolla yritys suorittaa vastaavia kehitysprojekteja. Hyvin suunniteltu prosessi antaa paremmat mahdollisuudet onnistua ja voi vakuuttaa asiakkaan siitä että yritys hahmottaa resurssi-vaatimukset ja osoittaa kyvyn suunnitella kehitysprojekteja, joista saatavan hyödyn on tarkoitus ajaa myös asiakkaan etua.

### 5.3 Tuotekehityksen tulokset

Projektioinnin asettamia haasteita keskusvalmistuksessa ovat eri tehdasstandardien vaikutukset keskuksien vaatimuksiin ja kokoonpanojen toteutukseen. Asiakaskohtaiset vaatimukset luovat myös eroja menetelmiin, joilla projektin kokoonpanoja toteutetaan. Samalla näiden toteuttaminen on ensisijainen kehittämisen kohde, jossa avainasemassa on osaaminen ja tuotteiden tunnistaminen.

Tässä työssä tehdyt suunnitelmat mahdollistavat tyypillisessä keskusprojektissa suuren osuuden suunnittelutyön tekemisestä valmiiden alustojen ja konfiguraatioiden avulla silloin, kun on löydetty oikea tuotesegmentti. Yleisten standardien asettamat rajat ja laatuvaatimukset huomioidaan suunnittelussa, kun tarjotaan laadukkaita vakioituja ratkaisuja. Usein tarvitaan myös projektikohtaista suunnittelua, kun tuotteen räätälöinti tulee aina joiltain osin tarpeeseen.

Kehitettävän systeemin ominaisuuksilla tavoitellaan selkeää ja helposti ymmärrettävää toimintaa. Oletettavasti tapauskohtaista suunnittelua vaativat osakokonaisuudet on tuotekehityksen alkuvaiheessa rajattava pois, mikäli ne vaativat systeemin suunnittelutyötä enemmän kuin on toiminnan kautta saavutettava hyöty. Helposti vakioitavien suunnitelmien tuotteistaminen ja toistuvan yksinkertaisen työn osuuksien korvaaminen tehokkaammilla menetelmillä parantavat merkittävästi suunnittelutyön tehokkuutta.

On haastavaa löytää oikeita tuote- ja asiakasryhmiä sekä ylläpitää toimintaa siten että suunnittelun kehitystyöstä saadaan vastaava hyöty pitkällä aikavälillä. Mitä paremmin kohderyhmän valinta onnistuu, sitä suurempi mahdollisuus on saavuttaa hyötyä tehokkaasta toiminnan kehittamisestä. On myös pystyttävä hahmottamaan asiakkaan vaatimukset, jotta tuotekehityksen tuloksena saadaan onnistunut ja molempia osapuolia miellyttävä toiminta. Hyvin suunniteltu ja tarjottu palvelu mahdollistaa vastaavien projektien toimituksen myös jatkossa.

## **5.4 Systeemin ylläpito ja kehitys**

Systeemin ylläpitoon täytyy sitoutua ja pitää yllä laadukasta toimintaa. Tietokannan ylläpito kuuluu päivittäiseen työntekoon ja kehitystyö jatkuu uusien projektien myötä. Vaikeammin hallittavien monimutkaisten kokonaisuuksien tuotteistaminen vaatii vielä kehitystyötä. Jatkuvassa kehitystyössä tuotealustojen projektikohtainen muokkaaminen on joiltain osin tarpeen uusien projektien kohdalla varsinkin kehitetyn systeemin toiminnan alkuvaiheissa.

Kehitystyön tekijöiltä vaaditaan tietämystä keskusvalmistuksesta ja keskustuotteista, mutta samalla hyvä käsitys tuoterakenteiden ja -tietojen hallinnasta. Suunnittelun käytössä olevilla työkaluilla on mahdollista hallita kehitettävää kokonaisuutta, mutta vaatii erityisosaamista. Kokemus ja osaaminen ovat tärkeitä tekijöitä systeemin ylläpidossa ja jatkuvassa kehittämisessä.

## **5.5 Jatkokehitysehdotukset**

Projektiluontoisessa keskusvalmistuksessa kehitystyötä voidaan jatkaa monella osa-alueella. Suunnittelutoiminnassa pieniä kehitystarpeita ilmaantuu normaalin toiminnan kautta. Tuotetietojen hallinnan ja tuoterakenteiden muodostamiseen suunnitteluohjelmistoilla vaaditaan osaamista, jota voidaan kehittää ohjelmistokoulutuksilla.



Tässä työssä on pohdittu tuotteistamista, kehitystyön vaiheita ja toteutuksen periaatteita ja hallintaa systeemitasolla. Tärkeä jatkuvan kehityksen kohde on sopivien tuoteryhmien osakokonaisuuksien kokoonpanojen optimointi ja kokoonpanomenetelmien kehittäminen. Kehitystyö sisältää tämän työn pohjalta tehtävän implementoinnin valikoitujen kohderyhmien suunnittelun ja dokumentoinnin osalta. Samalla voidaan tehdä havaintoja ja korjauksia tämän työn tarjoamien menetelmien käyttöön.

Suunnitteluprosessin kehityksen tulokset tukevat myös muiden sidosryhmien kehitystyötä. Jatkovaa kehitystä vaatii sisäisen toiminnan yhtenäistäminen suunnittelun ja sen sidosryhmien välillä. Tarjous- ja toimitusprosessien laajempi kehittäminen selkeyttäisi toimintaa ja vastuunjakoa eri osapuolten välillä.

## LÄHTEET

- [1] D. M. Buede, The Engineering Design of Systems: Models and Methods, Wiley, Hoboken, New Jersey, USA, 2009.
- [2] Department of Defense Systems Management College, Systems Engineering Fundamentals, Defense Acquisition University Press, Fort Belvoir, Virginia, 2001.
- [3] A. Kossiakoff, W. N. Sweet, S. J. Seamour, S. M. Beamer, System Engineering: Principles and Practice, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, Hoboken, New Jersey, USA, 2011.
- [4] K. Forsberg, H. Mooz, Visualizing Project Management, Models and Frameworks for Mastering Complex Systems, 3rd ed., Wiley, Hoboken, New Jersey, USA, 2005.
- [5] N. M. A. Munasar, S. Govardhan, A Comparison Between Five Models Of Software Engineering, IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 7, Issue 5, September 2010.
- [6] B. W. Boehm, A Spiral Model of Software Development and Enhancement, TRW Defense Systems Group, 2014. Saatavissa: <http://csse.usc.edu/csse/TECHRPTS/1988/usccse88-500/>
- [7] S. Balaji, M. Sundararajan Murugaiyan, Waterfall vs V-model vs Agile: A Comparative Study on SDLC, International Journal of Information Technology and Business Management, 29th June 2012. Vol.2 No. 1.
- [8] K. Hänninen, T. Kinnunen, M. Muhos, H. Haapasalo, Rapid Productization – Empirical Study on Preconditions and Challenges, Department of Industrial Engineering and Management, University of Oulu, 2012.
- [9] H. Simula, T. Lehtimäki, J. Salo, Re-thinking the product – from innovative technology to productized offering, Proceedings of the 19th international society for professional innovation management conference, Tours, France, June 2008.
- [10] E. Jaakkola, M. Orava, V. Varjonen, Palvelujen tuotteistamisesta kilpailuetua, Tekes, Helsinki, 2009.
- [11] Kati Sarinko, Asiakaskohtaisesti muunneltavien tuotteiden massaräätälöinti, konfigurointi ja modulointi, Konetekniikan osasto, Teknillinen korkeakoulu, Helsinki, 1999.
- [12] A. Jose, M. Tollenaere, Modular and platform methods for product family design: literature analysis, Journal of Intelligent Manufacturing, August 2004.

- [13] K. A. Jørgensen, Product Configuration and Product Family Modelling, Department of Production, Aalborg University, October 2009.
- [14] U. Harlou, Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Developing Product Families Based on Architectures: Contribution to a theory of product families, Technical University of Denmark, Department of Mechanical Engineering, 2006.
- [15] K. Hölttä-Otto, Modular Product Platform Design, Helsinki University of Technology, Department of Mechanical Engineering, 2005.
- [16] L. J. Osterweil, A Process Programmer Looks at the Spiral Model: A Tribute to the Deep Insights of Barry W. Boehm, *Int J Software Informatics*, Volume 5, Issue 3 (2011), pp. 457-474.
- [17] Camelot ITLab GmbH, Engineer to Order (ETO) Supply Chain Planning, Mannheim, Germany.
- [18] S. M. R. Iravani, K. L. Luangkesorn, D. Simchi-Levi, On assemble-to-order systems with flexible customers, Department of Industrial Engineering and Management Sciences, Northwestern University, Evanston, June 2000.
- [19] J. Song, P. Zipkin, Supply Chain Operations: Assemble-to-Order Systems, University of California, Irvine, September 2001.